

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO
CIVIL – PPGECC

ELJI FUKUI

**INFLUÊNCIA DO TEMPO DE UTILIZAÇÃO DE ARGAMASSAS DE
REVESTIMENTO INDUSTRIALIZADAS NOS ESTADOS FRESCO E
ENDURECIDO COM ÊNFASE NO COMPORTAMENTO REOLÓGICO**

CURITIBA

2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

**INFLUÊNCIA DO TEMPO DE UTILIZAÇÃO DE ARGAMASSAS DE
REVESTIMENTO INDUSTRIALIZADAS NOS ESTADOS FRESCO E
ENDURECIDO COM ÊNFASE NO COMPORTAMENTO REOLÓGICO**

Dissertação apresentada como requisito à obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil, no Programa de Pós Graduação em Engenharia de Construção Civil da Universidade Federal do Paraná. Área de concentração: Materiais e Estrutura, na linha de Pesquisa em Pastas e Argamassas.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a. Marienne do Rocio de Mello Maron da Costa.

CURITIBA

2017

F961i

Fukui, Eiji

Influência do tempo de utilização de argamassas de revestimento industrializadas nos estados fresco e endurecido com ênfase no comportamento reológico / Eiji Fukui. – Curitiba, 2017.

134 f. : il. color. ; 30 cm.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, 2017.

Orientadora: Marienne do Rocio de Mello Maron da Costa.

1. Construção civil. 2. Argamassas industrializadas. 3. Squeeze flow. I. Universidade Federal do Paraná. II. Costa, Marienne do Rocio de Mello Maron da. III. Título.

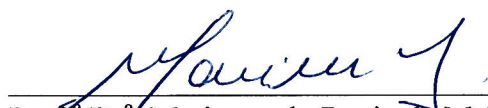
CDD: 691.5

TERMO DE APROVAÇÃO


EIJI FUKUI

INFLUÊNCIA DO TEMPO DE UTILIZAÇÃO DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO INDUSTRIALIZADAS NOS ESTADOS FRESCO E ENDURECIDO COM ÊNFASE NO COMPORTAMENTO REOLÓGICO

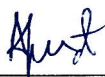
Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Construção Civil no Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:



Prof.ª Dr.ª Marienne do Rocio de Mello Maron da Costa
Orientadora - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil -
UFPR



Prof. Dr. Leonardo Fagundes Rosemback Miranda
Examinador - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil -
UFPR



Prof. Dr. Ângelo Just Costa e Silva
Examinador – Universidade de Pernambuco.

Curitiba, 30 de maio de 2017

AGRADECIMENTOS

O caminho trilhado não foi fácil, por isso, agradeço muito à Deus por permitir que eu trilhasse esse caminho até este momento tão gratificante.

Aos colegas, Mauricio, Sarah, Victor, Maria, Eliziane, Thaisa e Heloisa, pelas discussões dos trabalhos, pelas opiniões sobre minhas apresentações, e principalmente pela amizade. Muito obrigado.

Agradeço minha orientadora Dr^a. Marienne do Rocio de Mello Maron da Costa, que captou a minha dificuldade em transcrever minhas palavras em um texto, pela paciência e calma que ela transmitiu, pelo direcionamento e conselhos em momentos difíceis, e da forma ímpar que orientou e direcionou a execução desse trabalho.

A todos os professores do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Construção Civil, em especial os professores Aloísio, que mudou a minha visão sobre conforto térmico, e ao professor Ronaldo Medeiros que, na dureza de suas aulas me apoiou nas dificuldades e me fez entender os fatores que influenciam na durabilidade do concreto e principalmente da vida. À Ziza pelo constante auxílio administrativo e alertas sobre prazos, provas, e matrícula. À todos eles, eu deixo aqui os meus sinceros agradecimentos.

Agradeço aos amigos José Eduardo, Aline Tanabe, Andreia, Talita, Jéssica, Renan, Tácius, Giuliana, Guilherme Kaique, Juvenil, Marco, Eloi, Ana Dal Moro, Marcio, Wagner, Marcio Lopes, Viviani, pelo companheirismos, apoio e preocupação. Ao Eduardo Porciuncula, Isac, Erik Weide, agradeço pelo apoio direto e indireto.

A Waleska Barbosa, pela compreensão, dedicação, companheirismo nas discussões de resultados e gráficos, pelos conselhos e opiniões, pela paciência com minha teimosia e, sobretudo, pela sua amizade que em momentos difíceis me auxiliou e direcionou meus estudos de forma clara e direta. À Waleska muito obrigado.

Agradeço especialmente à minha gerente Silvia Regina Soares da Silva Vieira, que em momentos difíceis me aconselhou de forma efetiva, clara e direta. Sempre levantando minha autoestima de forma sincera, deixando uma grande lição que levarei para toda minha vida.

Agradeço à Votorantim Cimento, que sempre inova para crescer com excelência, mostrando que a vida é feita para durar, e que o legado dessa empresa é o conhecimento.

Ao meu sogro Cláudio e minha sogra Zelir, agradeço muito à eles pelo apoio e palavras de conforto.

Aos meus pais Kenji e Michiko, que desde a minha infância sempre me apoiaram em meus estudos. Aos meus irmãos, Aya, Akemi, Saori, Norio, Yuuji e Chika que por muitas vezes me auxiliaram direta ou indiretamente. Aos meus sobrinhos e sobrinhas, Marina, Fernanda, Takashi, Miguel, Melissa, Lucas, Megumi, Emy, que ao vê-los sempre me dão forças e ânimo para encarar as dificuldades.

Agradeço muito a minha esposa Flávia pela compreensão, companheirismo, conselhos e ajuda. Ao meu filho Arthur pelas broncas e exigências de que sábado e domingo não são dias de trabalho, são dias para ficar em casa e brincar com ele.

Por fim, foram tantas pessoas que corroboraram para chegar a esse momento tão especial, e gostaria de me desculpar se no ápice das emoções esqueci de alguém. A todos deixo os meus mais sinceros agradecimentos.

RESUMO

A argamassa é um produto essencial para a construção civil e pode ser dividida em dois segmentos. O primeiro segmento se refere às argamassas básicas utilizadas para assentamento de blocos, regularização de pisos e revestimento de paredes. O segundo segmento refere-se às argamassas colantes e rejuntas utilizados para assentamento de cerâmicas, porcelanatos, pedras especiais etc. O estudo foi focado nas argamassas básicas industrializadas de revestimento de paredes. Em muitos canteiros de obra, é comum que após a adição de água inicial utilizada na mistura da argamassa, não haja controle relacionado ao tempo de utilização da argamassa indicado pelo fabricante. Consequentemente as argamassas perdem a trabalhabilidade fazendo com que o pedreiro acrescente mais água com a finalidade de se obter a consistência inicial. Desta forma o objetivo do trabalho é avaliar a alteração do comportamento reológico no estado fresco de argamassas industrializadas de revestimento, em função do maior tempo de utilização e do acréscimo de água visando a manutenção da trabalhabilidade e, consequentemente o impacto no desempenho no estado endurecido. Foram coletadas dez argamassas no território nacional, distribuídas pelas regiões sul, sudeste, centro-norte e nordeste. Conforme as informações contidas nas sacarias dos produtos, o tempo máximo de utilização para todas as argamassas é de duas horas contadas a partir da mistura inicial com água. Com a finalidade de simular o tempo excedido de utilização que pode ocorrer nas obras, as amostras foram analisadas durante o período de três horas contadas a partir da mistura com água, sendo que as medições ocorreram com uma periodicidade de uma hora. Os resultados indicam que a extensão do tempo de utilização através do acréscimo de água com o objetivo de obter a trabalhabilidade determinada pelo pedreiro influenciou negativamente a resistência à compressão e a retração linear das argamassas. Para a resistência de aderência à tração, não houve impacto significativo ao avaliar o acréscimo de água em função do tempo. As análises realizadas através do ensaio squeeze-flow apresentaram boa correlação com a percepção de trabalhabilidade indicada pelo pedreiro. Todas as curvas obtidas com as argamassas após o acréscimo de água apresentaram uma variação máxima de descolamento de dois milímetros com cargas entre 100 e 150 Newtons. Ao exceder o tempo de utilização da argamassa, perde-se a trabalhabilidade, influenciando no acréscimo de água na argamassa, melhorando seu comportamento reológico, mas afetando negativamente algumas propriedades no estado endurecido.

Palavras chaves: argamassas industrializadas, tempo de utilização, acréscimo de água, squeeze-flow, comportamento reológico.

ABSTRACT

The mortar is an essential product for civil construction, and can be divided in two segments. The first is the basic mortars, used in the block laying, floor regulation, and wall cladding. The second segment is the adhesive mortars, used for laying ceramics, porcelain tiles, and especial stones etc. The study was focus on the industrialized basic mortars, used for wall cladding. In many constructions, it is common that after the addition of initial water used in the mortar mixture, there is no control related to the time of use of the mortar indicated by the manufacturer. Consequently, mortars lose their workability causing the mason to add more water in to the mortar to obtain the initial consistency. Therefore, the objective of these studies is to evaluate the alteration of the rheological behavior in the fresh state of industrialized coating mortars, due to the longer time of use and the addition of water in order to maintain the workability and consequently the impact on the performance in the hardened state. Ten mortars were collect in the national territory, distributed in the south, southeast, central-north, and northeast. According to the information contained in the product packing, the maximum time of use for all mortars were two hours counted from the initial mixing with water. With the objective to simulate the exceeded of used that may occur in the constructions sites, the mortars were analyzed during three hours counted from the initial mixing with water. The measurements occurred with a periodicity of one hour. The results indicate that the extension of the time of use through the addition of water in order to obtain the workability determined by the mason influenced negatively the compressive strength and the linear retraction of the mortars. For tensile strength, there was no significant impact in assessing the increase of water as a function of time. The squeeze flow analyzes showed a good correlation with the perceived workability indicated by the mason. All curves obtained with the mortars after addition of water showed a maximum variation of 2 millimeters with loads between 100 Newton and 150 Newton. When the time of use mortars was exceeds, the workability was lost and influencing the addition of water in the mortar, improving your rheological behavior, but negatively affecting some properties in the hardened state.

Keywords: industrialized mortars, time of use, addition of water, squeeze-flow, rheological behavior.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Distribuição de consumo da argamassa industrializada no Brasil.	18
Figura 2.1: Suspensão complexa de partículas sólidas em água.	25
Figura 2.2: Representação esquemática do conceito de distância média de separação entre as partículas: (a) Partículas em contato (b) Partículas separadas por uma distância D em decorrência da adição de um fluido em volume suficiente para recobrir a superfície, preencher os vazios deixados pelo empacotamento e então afastá-las.	26
Figura 2.3: Técnica de compactação: a) Camadas monodispersas, porosidade de monodispersões; b) Empacotamento aleatório, porosidade reduzida.....	27
Figura 2.4: Porosidade dos grãos: a) partícula densa sem poros; b) partícula com poros fechados; c) partícula com poros abertos.	29
Figura 2.5: Relação qualitativa existente entre densidade relativa e o arredondamento relativo para empacotamentos monodispersos aleatórios de partículas.....	29
Figura 2.6: Equipamentos utilizados na mistura de argamassas. A) Betoneira, mistura por bateladas, com eixo inclinado; B) Vista interna da betoneira; C) Equipamento de mistura por bateladas, com um eixo horizontal; D) Configuração do eixo central do misturador de eixo horizontal; E) Equipamento de mistura, por batelada, com dois eixos horizontais; F) Equipamento de mistura planetário, por batelada, de eixo vertical; G) Equipamento de mistura contínuo.	33
Figura 2.7: Mecanismo de intertravamento da matriz nos poros e rugosidades do substrato. .	38
Figura 2.8: Fissuras em argamassa de revestimento.....	39
Figura 2.9: Desenho esquemático indicando o efeito de uma partícula e o tamanho sobre as linhas de fluxo de um fluido submetido ao cisalhamento.	41
Figura 2.10: Comportamento básico de fluidos: (1) newtoniano; (2) de Bingham; (3) pseudoplástico; (4) pseudoplástico com tensão de escoamento; (5) dilatante; (6) dilatante com tensão de escoamento.	42
Figura 2.11: Comportamento reológico de fluidos dependentes do tempo, tensão de cisalhamento em função do tempo, para taxa constante de cisalhamento: i) comportamento de um fluido independente do tempo; ii) fluidos reopéxicos, aumento da tensão de cisalhamento; iii) fluidos tixotrópicos: diminuição da tensão de cisalhamento.	44
Figura 2.12: Curvas de histerese para comportamentos reológicos dependentes do tempo submetidos a ciclos de aceleração e desaceleração: a) fluidos tixotrópicos – maiores tensões	

de cisalhamento na aceleração; b) fluidos reopéxicos – menores tensões de cisalhamento na aceleração.	45
Figura 2.13: Reômetro para argamassas, destaque dos componentes: 1) torre superior; 2) dispositivo rotacional; 3) base de reação e console; 4) elevador; 5) recipiente de ensaio; 6) geometria da pá de mistura composta por haletas radiais montadas em espiral.....	46
Figura 2.14: Representação do ciclo de cisalhamento, aceleração e desaceleração.....	48
Figura 2.15: Extrapolação da curva de aceleração do fluxo para obtenção das tensões de escoamento estática e dinâmica.....	49
Figura 2.16: Ensaio Squeeze-flow: 1) punção superior; 2) amostra de argamassa fresca a ser analisada; 3) prato metálico não absorvente.....	49
Figura 2.17: Gráfico extraído do ensaio <i>squeeze-flow</i>	51
Figura 3.1: Argamassa e sua regional.....	51
Figura 3.2: Fluxograma das etapas do Programa Experimental.....	53
Figura 3.3: Ensaio e repetições para as caracterizações no estado anidro, fresco e endurecido da argamassa.....	54
Figura 3.4: Frasco de Le Chatelier utilizado no ensaio de densidade.	55
Figura 3.5: Moinho Herzog: (1) tampa do recipiente; (2) corpos moedores; (3) estrutura do recipiente.	56
Figura 3.6: Difratorômetro de raio-X: (1) tubo de raio de cobre com potência; (2) receptor dos raios.	56
Figura 3.7: Utilização e classificação das argamassas industrializadas para revestimento de paredes. P: classe de resistência à compressão; M: classe de densidade no estado endurecido da argamassa; R: resistência à flexão; C: coeficiente de absorção por capilaridade; D: densidade no estado fresco da argamassa; U: retenção de água da argamassa; A: resistência de aderência à tração.	58
Figura 3.8: Argamassadeira planetária EMIC.	59
Figura 3.9: Reômetro para argamassas, componentes: 1) torre superior; 2) dispositivo rotacional; 3) base de reação e console; 4) recipiente de ensaio; 5) elevador; 6) raquete de mistura, composta por haletas radiais montadas em espiral.....	62
Figura 3.10: Programação de esforços rotacionais na mistura.	63
Figura 3.11: Representação do ciclo de cisalhamento, aceleração e desaceleração.....	63
Figura 3.12: Posicionamento do corpo de prova prismático para o ensaio de resistência à flexão.	64

Figura 3.13: Ensaio de ruptura à compressão da fração do corpo de prova prismático submetido ao ensaio de resistência à flexão.	65
Figura 3.14: Medição dos corpos de prova para a determinação da densidade no estado endurecido.	65
Figura 3.15: Dimensão dos moldes para o ensaio de variação dimensional (dimensões em milímetros).	66
Figura 3.16: Equipamento de ultrassom para ensaio de módulo de elasticidade.	67
Figura 3.17: Misturador: UEZ 73730, Toni Technik.	68
Figura 3.18: Argamassa após a mistura inicial: (1) misturador; (2) argamassa para aplicação T0; (3) argamassa para aplicação T1; (4) argamassa para aplicação T2; (5) argamassa para aplicação T3.....	68
Figura 3.19: Painel teste aquecido com refletores incandescentes.	69
Figura 3.20: A: Moldagem dos corpos de prova para o ensaio de perda de umidade; B: Pesagem dos corpos de prova com periodicidade de 1 hora.	70
Figura 3.21: Linha do tempo da argamassa, após a mistura inicial as amostras foram separadas para aplicações com 1, 2 e 3 horas.	71
Figura 4.1: Informações obtidas das sacarias das argamassas.....	73
Figura 4.2: Teores de água conforme indicação da sacaria, e teores de água utilizados para a execução dos ensaios. Para a ARG 9, utilizou-se menos água que o indicado.	74
Figura 4.3: Difração de raio – X, ARG 1. Argamassa composta por agregado de origem calcária.....	75
Figura 4.4: Difração de raio – X, ARG 2. Argamassa composta por agregado de quartzo. Q: quartzo. M: microclin.	76
Figura 4.5: Difração de raio – X, ARG 4. Argamassa composta por agregados calcário e quartzo. A: Albita; B: Biotita; C: Cinicloro; D: Cristobalita; E: Calcita; F: Homoblenda; G: Quartzo; H: Hematita; I: Calcita Magnésiana.	76
Figura 4.6: Características físicas das argamassas. Finos: teor de partículas finas passante na peneira 0,088 milímetros; Agreg: teor de partículas retidas na peneira 0,088 milímetros; ρ Arg: massa específica da argamassa em g/cm ³ ; A.R.: arredondamento relativo das partículas retidas na peneira 0,088 milímetros.....	77
Figura 4.7: Teores de finos, agregados e massa específica das argamassas.....	79
Figura 4.8: Distribuição granulométrica discreta das argamassas. Frequência (%) vs. diâmetro de partículas (μ m). Argamassas contendo agregados calcários.....	80

Figura 4.9: Distribuição granulométrica discreta das argamassas. Frequência (%) vs. diâmetro de partículas (μm). Argamassas contendo agregados de quartzo.	80
Figura 4.10: Arredondamento dos agregados. Considera-se 1 como uma esfera perfeita. CV: coeficiente de variação dos agregados das argamassas.	81
Figura 4.11: Curvas de mistura das argamassas testadas no reômetro rotacional. A energia total de mistura de cada argamassa é calculada através da área abaixo da curva entre 0 e 180 segundos.	82
Figura 4.12: Energia de mistura e teor de finos das argamassas com agregados calcário e de quartzo.	83
Figura 4.13: Ciclos de cisalhamento. Amostras, ARG1, ARG2, ARG3, e ARG4.....	84
Figura 4.14: Energia de mistura e teor de água das argamassas com agregados calcário e de quartzo.	85
Figura 4.15: Área de histerese e viscosidade aparente das argamassas.....	86
Figura 4.16: Teor de ar incorporado e viscosidade aparente.	86
A distribuição volumétrica das fases no estado fresco das argamassas é visualizada na Figura 4.17. As argamassas compostas por agregado calcário verificam-se que há um maior percentual volumétrico, isso deve-se pelo maior teor de finos que influencia no teor de matriz da argamassa. Já as argamassas com agregado de quartzo já possuem teores semelhante entre eles.	86
Figura 4.18: Distribuição de fases das argamassas no estado fluido. T.A.Quartzo: Teor de agregado de quartzo. T.Finos: Teor de finos. T.Água: Teor de água. Ar I.: Teor de ar incorporado. T.A.Calcário: Teor de agregado calcário.	87
Figura 4.19: Caracterização em laboratório no estado fresco das argamassas. R.A.: retenção de água da argamassa, dado em porcentagem; D.F.: densidade no estado s fresco das argamassas, em kg/m^3 ; A.I.: teor de ar incorporado da argamassa em porcentagem.	88
Figura 4.20: Resultado do ensaio Squeeze-flow das argamassas misturadas conforme ABN NBR 13276.	88
Figura 4.21: Resultados de densidade no estado endurecido e módulo de elasticidade. DENS END: Densidade no estado endurecido dado em kg/m^3 ; ED: Módulo de elasticidade aos 28 dias em GPa.	90
Figura 4.22: Resultados de resistência mecânica das argamassas. RF 28: Resistência à flexão aos 28 dias; RC 28: Resistência à compressão aos 28 dias.	90
Figura 4.23: Teores de água nos tempos T1, T2 e T3 considerando os acréscimos de água e as perdas por evaporação.	92

Figura 4.24: Relação entre a capacidade de retenção de água das argamassas e a perda de água por evaporação.....	93
Figura 4.25: Densidades e teores de ar incorporado das argamassas ARG1, ARG2, ARG3 e ARG4 antes e depois do acréscimo de água.....	94
Figura 4.26: Densidades e teores de ar incorporado das argamassas ARG5, ARG6, ARG7 e ARG8 antes e depois do acréscimo de água.....	95
Figura 4.27: Densidades e teores de ar incorporado das argamassas ARG9 e ARG10.	96
Figura 4.28: Squeeze-flow, argamassas classe 1 com deslocamento entre 4mm e 6mm. ARG_Lab, argamassas misturadas de acordo com a ABNT NBR 13276. ARG_T0, argamassas misturadas para aplicação em campo.	98
Figura 4.29: Squeeze-flow, argamassas classe 2 com deslocamento entre 6mm e 8mm. ARG_Lab, argamassas misturadas de acordo com a ABNT NBT 13276. ARG_T0, argamassas misturadas para aplicação em campo.	99
Figura 4.30: Squeeze-flow, argamassas classe 3 com deslocamento acima de 8mm. ARG_Lab, argamassas misturadas de acordo com a ABNT NBT 13276. ARG_T0, argamassas misturadas para aplicação em campo.	99
Figura 4.31: Curva de <i>squeeze-flow</i> . A1, argamassa ARG1 Sem acréscimo de água; A2, argamassa ARG1 Com acréscimo de água.....	100
Figura 4.32: Comparativo das curvas de <i>squeeze-flow</i> entre as amostras ARG 1 – T2 sem acréscimo de água e ARG 1 – T3 com acréscimo de água.....	101
Figura 4.33: Curvas de <i>squeeze-flow</i> ARG2 sem acréscimo de água.	101
Figura 4.34: Curva de <i>squeeze-flow</i> . A1, argamassa ARG3 Sem acréscimo de água; A2, argamassa ARG2 Com acréscimo de água.....	102
Figura 4.35: Curva de <i>squeeze-flow</i> . A1, argamassa ARG4 Sem acréscimo de água; A2, argamassa ARG4 Com acréscimo de água.....	103
Figura 4.36: Curva de <i>squeeze-flow</i> . A1, argamassa ARG5 Sem acréscimo de água; A2, argamassa ARG5 com acréscimo de água.....	103
Figura 4.37: Curva de <i>squeeze-flow</i> . A1, argamassa ARG6 Sem acréscimo de água; A2, argamassa ARG6 com acréscimo de água.....	104
Figura 4.38: Curva de <i>squeeze-flow</i> . A1, argamassa ARG7 Sem acréscimo de água; A2, argamassa ARG7 com acréscimo de água.....	105
Figura 4.39: Curva de <i>squeeze-flow</i> . A1, argamassa ARG8 Sem acréscimo de água; A2, argamassa ARG8 com acréscimo de água.....	105

Figura 4.40: Curva de <i>squeeze-flow</i> . A1, argamassa ARG9 Sem acréscimo de água; A2, argamassa ARG9 com acréscimo de água.....	106
Figura 4.41: Curvas de <i>squeeze-flow</i> ARG10 sem acréscimo de água.	107
Figura 4.42: Comparativo das áreas de histerese entre as argamassas misturada pelo reômetro rotacional e mistura em campo, misturador UEZ 73730.....	108
Figura 4.43: Densidade no estado endurecido das argamassas para os tempos de T0, T1, T2 e T3.....	109
Figura 4.44: Resistência à compressão das argamassas para os tempos T0, T1, T2 e T3.....	110
Figura 4.45: Módulo de elasticidade dinâmico argamassas para os tempos T0, T1, T2 e T3.	110
Figura 4.46: Resistência de aderência para os tempos T1, T2 e T3, para as argamassas, ARG1, ARG2, ARG3 e ARG4, ARG5 e ARG6..	111
Figura 4.47: Resistência de aderência para os tempos T1, T2 e T3, para as argamassas, ARG5, ARG6, ARG7, ARG8, ARG9e ARG10.	112
Figura 4.48: Análise estatística do intervalo de confiança do ensaio de resistência de aderência à tração.....	112
Figura 4.49: Retração linear das argamassas.....	113
Figura 8.1: Difração de raio – X, ARG 1. Argamassa composta por agregado de origem calcária.....	125
Figura 8.2: Difração de raio – X, ARG 2. Argamassa composta por agregado de quartzo. Q: quartzo. M: microclin.	125
Figura 8.3: Difração de raio – X, ARG 3. Argamassas composta por agregado calcário.	126
Figura 8.4: Difração de raio – X, ARG 4. Argamassa composta por agregados calcário e quartzo. A: Albita; B: Biotita; C: Cinicloro; D: Cristobalita; E: Calcita; F: Homoblenda; G: Quartzo; H: Hematita; I: Calcita Magnésiana.	126
Figura 8.5: Difração de raio – X. ARG 5. Argamassa composta por agregados de quartzo. Q: Quartzo.	127
Figura 8.6: Difração de raio – X, ARG 6. Argamassa composta por agregado de quartzo. Q: Quartzo.	127
Figura 8.7: Difração de raio – X, ARG 7. Argamassa composta por agregado de quartzo. Q: Quartzo.	128
Figura 8.8: Difração de raio – X, ARG 8. Argamassa composta por agregado calcário.....	128
Figura 8.9: Difração de raio – X, ARG 9. Argamassa composta por agregado de quartzo. C: Cristobalita; M: Microclin; Q: Quartzo	129

Figura 8.10: Difração de raio – X, ARG 10. Argamassa composta com agregado de quartzo.

Q: Quartzo 129

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. OBJETIVO	18
1.2. JUSTIFICATIVA	18
1.2.1. Tecnológica	19
1.2.2. Econômica	21
1.2.3. Ambiental	22
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
2.1. UMA VISÃO SISTÊMICA DA AÇÃO FÍSICA DA ÁGUA EM ARGAMASSAS.....	24
2.1.1. Influência do empacotamento de partículas	26
2.1.2. Influência da granulometria das partículas	27
2.1.3. Influência da porosidade dos agregados	28
2.2. FATORES QUE AFETAM O DESEMPENHO DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO	30
2.2.1. Teor de água na mistura.....	30
2.2.2. Energia de mistura e tempo de mistura	31
2.2.3. Retenção de água	35
2.2.4. Tempo de utilização.....	36
2.3. INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE ÁGUA NO DESEMPENHO DE ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO	37
2.3.1. Resistência de aderência	38
2.3.2. Variação dimensional	39
2.4. REOLOGIA – ESTUDO DO FLUXO	40
2.4.1. Reologia das suspensões	40
2.4.2. Comportamento independente do tempo	42

2.4.3. Comportamentos dependente do tempo	43
2.5. TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE ARGAMASSAS	45
2.5.1. Reometria rotacional.....	46
2.5.2. Ensaio Squeeze flow	49
3. PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	51
3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA ANIDRA.....	54
3.2. VERIFICAÇÃO DO TEOR DE ÁGUA INDICADO PELO FABRICANTE	56
3.3. CARACTERIZAÇÃO EM LABORATÓRIO	57
3.3.1. Procedimento de mistura das argamassas.....	58
3.3.2. Avaliações no estado fresco	60
3.3.3. Avaliações no estado endurecido	64
3.4. APLICAÇÃO EM CAMPO – AMBIENTE EXTERNO	67
3.4.1. Avaliações no estado fresco das argamassas aplicadas em campo.....	68
3.4.2. Verificação da trabalhabilidade	70
3.4.3. Reometria rotacional.....	71
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	72
4.1. Informações da sacaria.....	72
4.2. Teores de água das argamassas.....	73
4.3. Caracterização mineral das argamassas no estado anidro.....	74
4.4. Caracterização física das argamassas no estado anidro	77
4.5. Caracterização das argamassas em laboratório	82
4.5.1. Laboratório - Estado fresco da argamassa	82
4.5.2. Laboratório - Estado endurecido da argamassa	89
4.6. Caracterização das argamassas em campo.....	91
4.6.1. Campo – estado a fresco da argamassa	91
4.6.1.1 – Análise da Retenção de água e do Teor de Ar incorporado	92

4.6.1.2	– Análise do comportamento reológico pelo ensaio Squeeze flow	97
4.6.1.3.	– Análise do comportamento reológico pela reometria rotacional	107
4.6.2.	Aplicação em campo – estado endurecido da argamassa	108
5.	CONCLUSÕES	114
6.	INDICAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	116
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117
8.	APÊNDICE	125
8.1.	APÊNDICE I	125
8.2.	APÊNDICE II	130

1. INTRODUÇÃO

A norma ABNT NBR 13529 – 2013 define argamassa como uma suspensão heterogênea composta por agregados miúdos de diferentes diâmetros e formas, envoltos em uma pasta formada por materiais finos (ligante ou adições), água e aditivos. A suspensão heterogênea ou sistemas cimentícios multifásicos envolvem a mistura de constituintes sólidos com a água. A adição de água em compostos cimentícios tem como função principal a hidratação do cimento, contudo a água funciona como um dispersante distanciando as partículas entre elas, propiciando a trabalhabilidade ao sistema (KLEIN, 2012). A trabalhabilidade é definida como a facilidade de misturar e dar acabamento de concreto e argamassas no estado fresco (ACI 116R-78).

O processo de mistura com a água define o estado inicial de homogeneidade. A dispersão das partículas e o teor de ar incorporado da argamassa são características que impactam no desempenho final do revestimento e são influenciadas por fatores como curva granulométrica, morfologia dos agregados, energia de mistura e aditivações (ROMANO 2011; FRANÇA 2013). Contudo, nos canteiros de obra, após a mistura inicial da argamassa industrializada é frequente o acréscimo de água na mistura, seja devido ao mau acondicionamento e / ou ao tempo prolongado de utilização.

O acréscimo de água após a mistura inicial pode ocorrer direta ou indiretamente. A inadequada homogeneidade da argamassa proveniente do processo de mistura pode influenciar diretamente no acréscimo de água após a mistura inicial. Problemas indiretos como a logística vertical de materiais também podem causar o acréscimo de água pós mistura inicial. No caso das argamassas de revestimento, uma solução frequente em obras é o preparo de grandes volumes de argamassa ensacada nas primeiras horas do expediente, de modo que esse grande volume é distribuído nos locais onde serão aplicados. Fukui (2015) relata que em muitos canteiros de obra não são respeitadas as condições mínimas de acondicionamento e o tempo de utilização das argamassas industrializadas. O inadequado acondicionamento e o tempo prolongado de utilização da argamassa causam perda de trabalhabilidade da mesma, fazendo com que ocorra o acréscimo de água para que se obtenha a trabalhabilidade desejada. A trabalhabilidade é ligada diretamente ao comportamento reológico da argamassa e, quando perde-se a trabalhabilidade ocorre a adição de água com a finalidade de manter o comportamento reológico inicial. Esse fato é vivenciado em muitos canteiros de obra (FUKUI, 2015).

Problemas com manifestações patológicas em argamassas são observados com frequência, principalmente sob a forma de eflorescências e descolamento de revestimentos, causando prejuízos à durabilidade. A literatura evidencia fenômenos patológicos ocasionados pela carência de controle dos materiais e pelo acréscimo indiscriminado de água na argamassa após a perda de consistência. Em muitos casos os traços de argamassas são escolhidos de forma empírica partindo da experiência de profissionais mais antigos, de forma que sua produção e utilização estão isentas de qualquer tipo de controle qualitativo (AZEREDO 1978; ANTUNES, *et al.*, 1997; NETO 1999; ROMANO 2011; SANTOS 2014).

Póvoas (2002) estudou a interferência da perda de água por evaporação na resistência de aderência à tração de argamassas colantes. Os resultados obtidos pela autora demonstraram que há correlação entre a queda de resistência à aderência das argamassas colantes por causa da evaporação da água da argamassa. Problemas de falta de aderência estão relacionados com a perda de trabalhabilidade e, infelizmente ainda é comum notícias de revestimentos se despreendendo do substrato e ferindo pessoas, conforme notícia publicada pelo jornal G1, em 30/12/2015 em Praia Grande litoral de São Paulo, onde ocorreu uma queda do revestimento, causando danos físicos e materiais.

De acordo com a literatura, as argamassas mistas de cimento, cal e areia, utilizadas a décadas em canteiros de obras, apresentam relatos de baixo desempenho, apresentando problemas patológicos como descolamento, baixa resistência superficial, surgimento de fissuras, proporcionando baixa durabilidade ao sistema de revestimento (ALMEIDA JR., 1995; SANTOS, 2014).

Na busca de qualidade, rendimento e garantias, muitas construtoras buscam as argamassas industrializadas, sejam elas anidras ou prontas para uso. As argamassas industrializadas além do cimento, cal e areia, apresentam em sua constituição aditivos químicos. Aditivos químicos nas argamassas propiciam melhor desempenho, seja ele no estado fresco ou endurecido da argamassa (YOSHIDA e BARROS 1995; NAKAKURA e BUCHER 1997; ANJOS 2009; ZHU 2013) e, além de propiciar essa melhora, a argamassa industrializada para revestimento apresenta uma redução de custo de aproximadamente 5,7% do custo total da obra (LINDNER DE OLIVEIRA 2006). Na busca pelo desempenho e maior rentabilidade, grandes construtoras estão utilizando argamassas industrializadas. No entanto, conforme Fukui (2015), há obstáculos a serem superados dentro dos canteiros de obra, entre eles, citam o tempo máximo de utilização da argamassa no estado fresco e o acréscimo de água.

O acréscimo de água após a mistura inicial com água pode alterar algumas propriedades essenciais como a aderência. O mecanismo de aderência de uma argamassa pode ser dividido em duas etapas distintas, mas que estão intrinsecamente relacionadas, sendo estas a adesão inicial e a aderência. A adesão inicial se dá no momento em que a argamassa é aplicada e a aderência propriamente dita é a que se desenvolve ao longo do processo de hidratação dos aglomerantes da argamassa (MORENO JUNIOR e SELMO, 2007; STOLZ, 2011). Ambas as etapas sofrem influência direta da água adicionada, sendo que a falta de água influencia na adesão e o excesso altera o fator água ligante na mistura alterando com isso a resistência. Argamassas com maior capacidade de retenção de água tende a apresentar uma maior resistência de aderência à tração (ALVES 2002).

Atualmente a literatura apresenta trabalhos que mensuram o desempenho das argamassas industrializadas considerando as melhores condições, como a correta adição de água e o tempo de utilização indicado pelo fabricante. Contudo, nos canteiros de obras muitas vezes não são respeitados o tempo de utilização do produto, tampouco a utilização da quantidade de água recomendada pelo fabricante. Cabe destacar que outro fator importante relacionado a perda de trabalhabilidade é a perda de água por evaporação.

Póvoas (2002) comprovou em argamassas colantes que a perda de abatimento devido a evaporação de água, afeta negativamente a sua resistência de aderência. Atualmente a norma ABNT NBR 13749 – 2013 define os critérios de aceitação para as argamassas de revestimento de paredes externa, interna e tetos, baseados em resultados de aderência. Nos canteiros de obras verificam-se que são preparadas excessivas quantidades de argamassa de revestimento e, muitas vezes o pedreiro não consegue utilizá-las no período recomendado pelo fabricante, conseqüentemente ocorrer perda de trabalhabilidade fazendo com que o aplicador acrescente água na mistura. Esse acréscimo de água que ocorre após a adição inicial de água ocorrida no preparo da argamassa, é feito com a finalidade de se retomar a trabalhabilidade inicial da argamassa. Nesse contexto, há a necessidade da investigação de como o acréscimo de água para a manutenção da aplicabilidade da argamassa influenciará efetivamente no desempenho do revestimento nos estados fresco e endurecido.

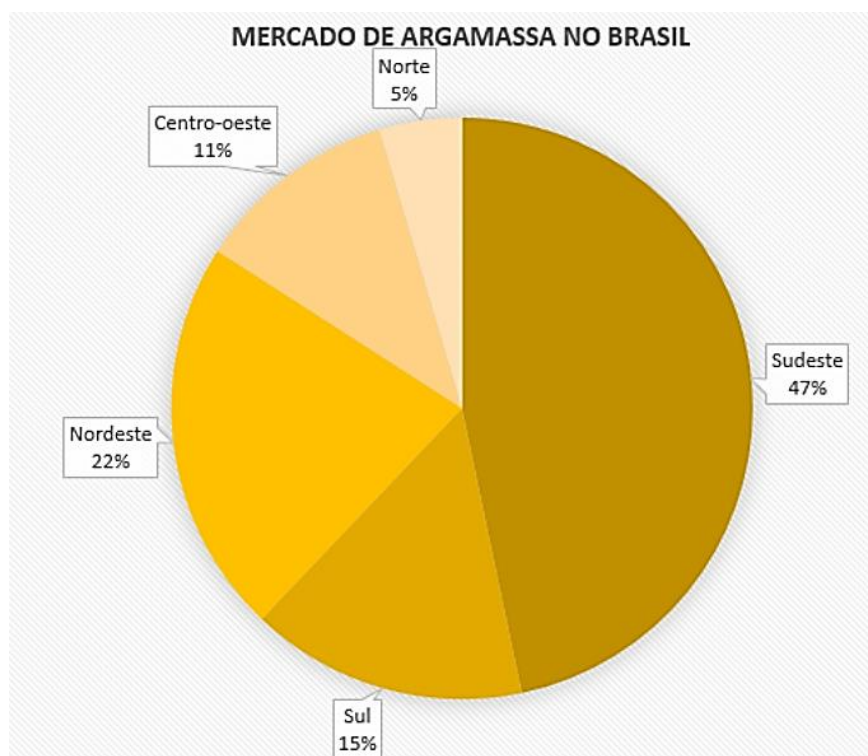
1.1.OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho de argamassas de revestimento industrializadas nos estados fresco e endurecido com ênfase no comportamento reológico, em função do maior tempo de utilização e do acréscimo de água visando a manutenção da trabalhabilidade.

1.2.JUSTIFICATIVA

Conforme divulgação da ABAI (Associação Brasileira de Argamassas Industrializadas), em 2015 o mercado de argamassas no Brasil foi de 120 milhões de toneladas. A Figura 1.1, apresenta a distribuição de consumo de argamassa industrializada no Brasil por região, onde são consideradas argamassas de revestimento interno e externo de paredes e tetos, execução de pisos, colagem dos mais diversos materiais em paredes, pisos, e tetos, grauteamentos, produtos decorativos internos e externos, e argamassas especiais.

Figura 1.1: Distribuição de consumo da argamassa industrializada no Brasil.



(ABAI, 2015)

Com base nas informações fornecidas pela ABAI, verifica-se que a região sudeste absorveu 47% da produção de argamassas, sendo que grande parte desse consumo é feito pelas grandes construtoras que buscam maiores rendimentos, menores custos e maior desempenho. Tecnicamente, o uso de argamassas industrializadas proporciona à construtora segurança na procedência e na qualidade do produto, quando utilizada conforme as especificações dos fabricantes. No entanto, a utilização de produtos industrializados não garante que o revestimento não apresentará problemas. De acordo com as informações extraídas das sacarias, após a mistura inicial com a água o produto deve ser utilizado em um período máximo de duas horas, e ao se utilizar o produto em tempos prolongados e com maior acréscimo de água, a argamassa de revestimento tende a apresentar manifestações patológicas.

A prática usual é de que a quantidade de água adicionada nas argamassas seja ajustada pelo pedreiro conforme a avaliação visual, a qual é baseada na experiência do mesmo. A insuficiência de água pode prejudicar a homogeneização e a molhabilidade da argamassa, gerando defeitos no revestimento. Por outro lado, o excesso de água pode causar a separação de fases por sedimentação, resultando em um material sujeito a grandes retrações e com microestrutura heterogênea com altos níveis de porosidade no estado endurecido (CARDOSO, 2009). Portanto, o acréscimo de água após a mistura inicial, determinado subjetivamente pelo pedreiro pode causar fissuras e o descolamento do revestimento no estado fresco e endurecido das argamassas de revestimento. O descolamento do revestimento já endurecido causa danos ambientais e financeiros, e argamassas com maiores tecnologias podem diminuir ambos os impactos.

1.2.1. Tecnológica

A água é um composto fundamental para compostos cimentícios, e o excesso impacta em maiores distâncias entre as partículas alterando o comportamento reológico no estado fresco e apresentando exsudação (PILEGGI, 1996). Além do impacto no estado fresco, o excesso de água pode impactar no estado endurecido da argamassa. Estudos recentes apresentam novas teorias de empacotamento buscando a melhoria tecnológica de materiais cimentícios. Oliveira (2000) estudou a distância entre as partículas, baseando em empacotamento de partícula. Em 2016 (KLEIN), verificou que a espessura da película de água que envolvem as partículas é inversamente proporcional ao empacotamento das partículas.

No entanto, em muitos casos não há a tecnologia de empacotamento de partículas envolvida, e é comum encontrar argamassas de cimento e areia com quantidade de água exageradas para que se obtenha a trabalhabilidade, fazendo com que a argamassa apresente exsudação. As argamassas mistas (cimento cal e areia) apresentam menor exsudação devido a maior retenção de água proveniente da cal (CINCOTTO *et al.*, 1995). A cal propicia melhorias na plasticidade e retenção de água nas argamassas, e ao se falar de retenção de água a cal exerce um processo físico por causa de sua baixa finura. A tecnologia traz aditivos químicos em substituição a cal, os incorporadores de ar têm a função de melhorar a plasticidade, enquanto que os celulósicos aumentam a retenção de água das argamassas dificultando a saída de água do sistema melhorando as características no estado a fresco e endurecido da argamassa (MATTANA 2013). A maior retenção de água proveniente de aditivos químicos pode propiciar às argamassas de revestimento maiores tempo de utilização isentando desta forma acréscimos de água.

A tendência de utilização de aditivos em argamassas se deve ao investimento tecnológico que as empresas desse setor fazem para terem produtos que atendam aos consumidores. Há indústrias que testam exaustivamente as propriedades desses aditivos e os caracterizam minuciosamente para obter uma formulação racional de argamassas (MATTANA 2013). A utilização de aditivos retentores de água tem como finalidade aumentar o tempo de utilização das argamassas alterando o comportamento reológico melhorando propriedade no estado fresco e endurecido como retenção de água e resistência à compressão, respectivamente.

Ao se utilizar a tecnologia dos aditivos em argamassas, buscam-se melhorias em seu desempenho. Aditivos celulósicos aumentam a viscosidade da matriz (BROCKEN, 1998; PAES, 2004). A alteração da viscosidade dificulta o fluxo de água dentro do sistema, aumentando a capacidade de retenção de água e o tempo de utilização. Consequentemente, ao se dificultar a saída de água do sistema, diminui-se a retração plástica da argamassa.

A busca pelo entendimento das propriedades dos materiais utilizados e a consequência dessa utilização no comportamento reológico das argamassas são estudos frequentes com o objetivo de extrair o máximo de suas propriedades. Porém, argamassas industrializadas desenvolvidas baseadas nas tecnologias dos materiais continuam a apresentar problemas de fissuras, resistência de aderência e abrasão (CASALI, 2011; FUKUI, 2015). Os autores relatam problemas provenientes do acondicionamento das argamassas estabilizadas e ensacadas já

prontas para o uso, tempo de utilização a fresco, perda de trabalhabilidade e consequentemente acréscimo de água para a manutenção da trabalhabilidade.

A falta de água nas argamassas de revestimento podem influenciar negativamente no desempenho de revestimento, da mesma forma o acréscimo de água pode causar o mesmo efeito. De modo que a utilização de ferramentas tecnológicas para o mapeamento reológico das argamassas, através de técnicas como reometria rotacional e squeeze-flow, são fundamentais para a compreensão dos materiais e sistemas que compõem as argamassas, contudo ainda há lacunas principalmente nas técnicas de aplicação empregadas nos canteiros de obra (PILLEGI, 2001; CARDOSO, 2009; FRANÇA, 2013).

1.2.2. Econômica

Os problemas patológicos em argamassas de revestimento não são recentes. Azeredo (1978) já detectou problemas patológicos referentes aos traços de argamassas convencionais, sendo que esses mesmos problemas foram evidenciados por Antunes *et al.*, (1997), Neto *et al.*, (1999) e Santos (2014). Em um estudo realizado por Silva e Nakakura (2001) foi verificado que a utilização de argamassa industrializada já representava na época, além de menor desperdício, aumento de produtividade e menor custo para obra. A industrialização da construção civil é uma tendência pois as exigências tornaram-se mais apertadas, com a necessidade do cumprimento dos prazos, aumento da qualidade, durabilidade, e agilidade na execução.

Contudo, a utilização de argamassas industrializadas também apresenta manifestações patológicas. É comum ocorrer o acréscimo de água após a mistura inicial da argamassa. Esse acréscimo pode causar fissuras no estado fresco e endurecido, pode também reduzir a resistência à compressão, abrasão e aderência à tração, além dessas patologias pode ocorrer o descolamento do revestimento, onerando custos de reparos. Problemas como esses são comuns em obras e, com o grande número de edifícios executados entre 2000 e 2013, não se sabe se esses problemas ocorreram devido ao desconhecimento dos pedreiros ou se ocorreram por causa da pressa em concluir a obra. Sabe-se apenas que os problemas ficaram e oneraram grandes custos às construtoras.

Pesquisa divulgada pela FIESP (Federação das Indústrias do Estado de São Paulo) revela que o índice de produtividade da construção civil nacional ficou estagnado entre 2000 e 2013,

fazendo com que o país figure na última colocação em um ranking que analisou a produtividade em 29 nações. De acordo com a FIESP, a produtividade da mão de obra na construção civil brasileira não acompanhou o forte aumento da atividade do setor ocorrida até 2013. A federação esclarece que investimentos em formação de capital humano e em pesquisa e desenvolvimento são estratégicos para alterar situações do setor. Trabalhos publicados por Casali (2011) e Fukui (2015) evidenciam o desconhecimento dos aplicadores do impacto do prolongamento do tempo de utilização e do acréscimo de água na argamassa industrializada.

Espera-se que, com a utilização de argamassas industrializadas, a quantidade de manifestações patológicas provenientes da composição seja minimizada e notícias de descolamento de revestimento se tornem reduzidos no âmbito jornalístico. Contudo, a literatura ainda evidencia problemas no acondicionamento de argamassas industrializadas prontas para o uso (CASALI, 2011). O prolongamento da utilização das argamassas impacta na maior adição de água, consequentemente altera o desempenho no estado endurecido. De acordo com os relatos da construtora TECNISA, o impacto econômico causado pela reforma de problemas patológicos relacionados a deslocamentos de cerâmica em áreas internas, pode chegar a 3 vezes ao custo inicial, isso quando o imóvel não está habitado. O custo da reforma eleva-se quando o imóvel já está com os moradores, o aumento é aproximadamente 7 vezes o custo inicial por metro quadrado, de acordo com dados apresentado pela construtora Tecnisa (SINDUSCON-SP). Com base nesse relato, caso haja baixa resistência superficial da argamassa de regularização esse custo pode ser ainda maior.

1.2.3. Ambiental

A alteração do comportamento reológico das argamassas durante o período de utilização podem trazer alguns problemas. A falta de água pode afetar a plasticidade da argamassa influenciando na área de contato com o substrato causando descolamento da argamassa. Já o excesso de água pode causar problemas de resistência e argamassas com baixa resistência superficial pode não suportar a aplicação de um revestimento cerâmico. A restauração dessas patologias gera resíduos, compra de novos materiais gerando emissões de gases poluentes na fabricação e transporte dos materiais utilizados.

A ACV (análise do ciclo de vida) procura prever emissões de dióxido de carbono, entre outros gases, relacionadas a um produto não apenas durante a sua fabricação, mas durante todo

seu período de utilização. O estudo é realizado com o intuito de compreender os impactos ambientais associados ao processo do ciclo de vida de um determinado produto, desde a aquisição da matéria-prima, produção, uso e disposição final (ABNT NBR14040).

A literatura comprova que a aderência influencia o comportamento mecânico e a durabilidade de concretos (agregado/matriz) (MASO. 1996), e revestimentos de argamassas (argamassa/substrato) (JENNI, *et al.*, 2005), constituindo um dos principais indicadores de qualidade do desempenho do sistema. A falta de aderência das argamassas ao substrato, causam impactos ambientais, exemplos como o ocorrido em 30/12/2016 em Praia Grande litoral de São Paulo (JORNAL G1, 30/12/2015) geram resíduo, consequentemente emissão de CO₂, e gastos com energia elétrica e consumo de água.

Problemas de descolamento de revestimentos, impactam negativamente na sociedade, causando danos econômicos, ambientais e as vezes perdas irreparáveis. De acordo com o estudo feito por Fukui (2013), a quantidade de CO₂ emitida apenas no processo de fabricação das argamassas industrializadas é de cerca de 70 kg por tonelada de argamassa anidra. Nesse estudo, o autor não realizou a ACV da argamassa de revestimento.

A análise do ciclo de vida das argamassas industrializadas demonstra que para revestir um metro quadrado em uma espessura média de 2,8 cm há uma emissão de aproximadamente 270 gramas de CO₂ (GAMA *et al.*, 2013). Desta forma, a execução de sistemas mais duráveis evita a substituição parcial ou total do revestimento reduzindo a emissão de CO₂ proveniente da fabricação e transporte dos resíduos e materiais de reforma.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A argamassa de revestimento é um produto amplamente difundido, podendo ser um produto industrial ou manufaturado. A qualidade do revestimento final depende de diferentes fatores, tais como: qualidade das matérias-primas; dosagem dos materiais; processo de mistura; condições ambientais; energia de impacto na aplicação do revestimento e experiência do aplicador; características do substrato: porosidade, absorção e rugosidade; a interação da argamassa com o substrato; conforto térmico e estético (BARBOSA 2010).

O comportamento das argamassas no estado fresco é complexo, principalmente quanto aos diferentes desempenhos reológicos que a argamassa deverá mostrar em função das diversas

fases de aplicação dos revestimentos. Como exemplo pode-se citar: o transporte da argamassa, pelo uso do carrinho de mão, processo de bombeamento; a forma de aplicação; o espalhamento da argamassa sobre o substrato que está relacionado com a área de contato, fato relevante na resistência de aderência no estado endurecido; tempo de consolidação da argamassa sobre o substrato, definindo o momento de execução do nivelamento e acabamento, influenciando na produtividade do aplicador (CARDOSO 2009; BARBOSA 2010; FRANÇA 2013).

Definido o processo pelo qual a argamassa será aplicada, pode-se adequar formulações que possuam o melhor desempenho reológico com base nas características e proporções dos materiais empregados, na intensidade e tempo de mistura, no tipo de substrato utilizado, bem como nas condições ambientais, temperatura e umidade. Estas variáveis podem e devem ser avaliadas através de ensaios que determinem o comportamento reológico de argamassas. Analisando o panorama atual, percebe-se que as pesquisas acadêmicas caminham no sentido de compreender os parâmetros reológicos e suas correlações com aplicação nos canteiros de obra (BARBOSA 2010).

Em vista dos vários fatores que exercem influência nas argamassas, análises convencionais não são capazes de mensurar as alterações no fluxo da argamassa. Desse modo, métodos como o squeeze-flow e a reometria rotacional são capazes de realizar uma avaliação reológica das argamassas, verificando variáveis como o efeito do tipo de mistura, segregação e viscosidade do sistema (CARDOSO, 2009).

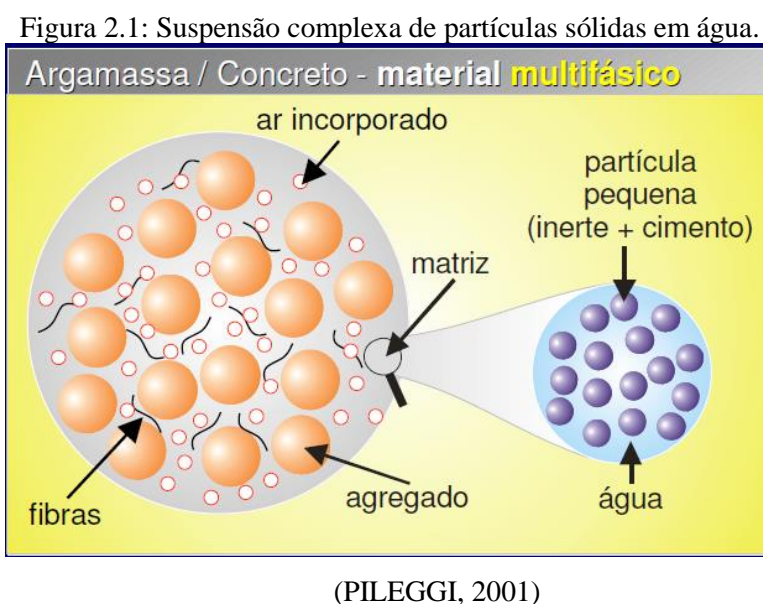
As novas técnicas empregadas como ferramentas de análise do comportamento reológico de pastas cimentícias e argamassas de revestimento demonstram o avanço tecnológico nesta área (MIN et al., 1993; MIN et al., 1994; ANTUNES, et al., 2005; CARDOSO et al., 2005; TOUTOU et al., 2005; BETIOLI, 2007; CARDOSO, 2009; BARBOSA, 2010; FRANÇA, 2013)

2.1.UMA VISÃO SISTÊMICA DA AÇÃO FÍSICA DA ÁGUA EM ARGAMASSAS

A água é o componente básico e responsável para que compostos a base de cimento Portland iniciem o processo de hidratação. De um modo geral, a literatura já informa que a água não exerce apenas a função de hidratação do cimento. A água em compostos cimentícios exerce

interferências físicas antes dos avanços do processo de hidratação, afetando as propriedades do estado fresco e endurecido (KLEIN, 2012).

A Figura 2.1 representa argamassa ou concreto no estado fresco, que podem ser considerados como uma suspensão de partículas com alto teor de sólidos, geralmente multifásica: partículas milimétricas de areia imersa em uma matriz, ou pasta (partículas finas e água) (PILEGGI, 2001).



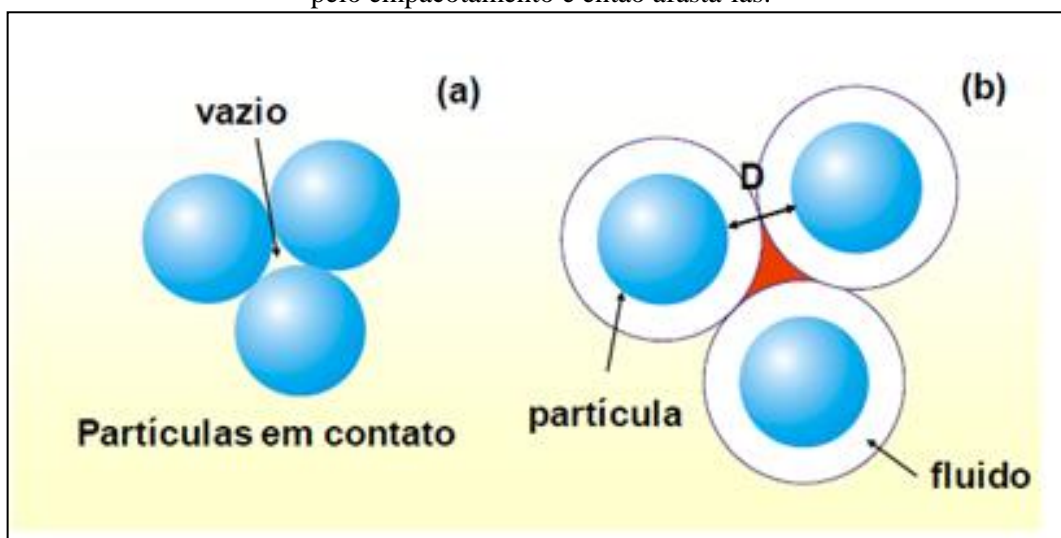
Basicamente a água exerce duas funções em compostos cimentícios: a primeira função está ligada diretamente às reações químicas de dissolução dos sais e formação dos compostos que ocorrem no processo de hidratação do cimento, e a segunda função refere-se ao processo físico de molhagem e dispersão das partículas, esses influenciados pelo empacotamento de partículas (determinado pela distribuição granulométrica), porosidade e morfologia dos agregados. A literatura indica que o percentual necessário de água para a hidratação de cimento é aproximadamente 30%.

A matriz de uma argamassa é composta de partículas finas, ligante, adições minerais, água e aditivos, sendo a água de grande importância, já que ela influencia diretamente o fluxo da mistura, (PILEGGI, 1996; COSTA, 2007).

Ao admitir que em uma suspensão, a água (ou fluido) inserida no sistema recobre inicialmente a superfície das partículas para depois preencher o volume de vazios deixados pelo

empacotamento das mesmas, somente a partir do preenchimento e recobrimento é que o fluido separa as partículas evitando o contato entre elas conforme apresentado na Figura 2.2 (OLIVEIRA et al., 2000; PILEGGI, 2001; CARDOSO, 2009). Autores como Oliveira (2000), Pileggi (2001), Cardoso (2009) e Klein (2016) relatam que o empacotamento e a morfologia dos grãos influenciam na fluidez de produtos cimentícios.

Figura 2.2: Representação esquemática do conceito de distância média de separação entre as partículas: (a) Partículas em contato (b) Partículas separadas por uma distância D em decorrência da adição de um fluido em volume suficiente para recobrir a superfície, preencher os vazios deixados pelo empacotamento e então afastá-las.



(CARDOSO, 2009)

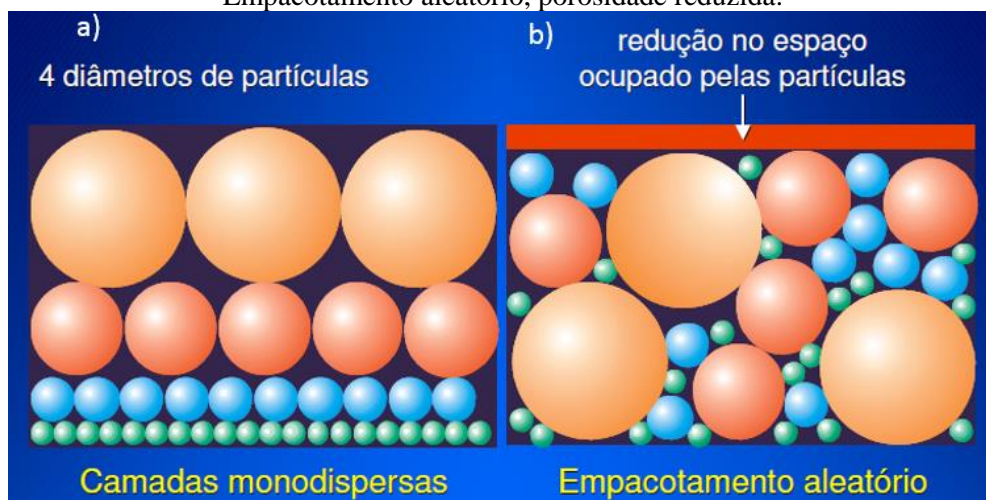
2.1.1. Influência do empacotamento de partículas

O empacotamento de partículas influencia a quantidade de água necessária para que os compostos cimentícios apresentem certa fluidez. A quantidade mínima de água necessária para envolver as partículas de cimento é relacionada ao empacotamento de partículas e à área superficial das partículas. Para a mesma área superficial, o maior empacotamento de partículas apresentará o menor volume de água para separar as partículas (WONG, 2008; FENNIS, *et al.*, 2013), de modo que, se a quantidade de água for constante, será observado um aumento da fluidez juntamente com o aumento do empacotamento de partículas (MIDORIKAWA, *et al.*, 2009).

A distribuição granulométrica das partículas influencia no estado endurecido propriedades como resistência mecânica, módulo de elasticidade, resistência de aderência, que são as mais

avaliadas, porém, não são as que sofrem seu maior impacto. Retração e permeabilidade ao ar, por outro lado, são propriedades de grande interesse prático que apresentam maior influência da distribuição granulométrica dos agregados (OLIVEIRA *et al.*, 2000; ROMANO, 2013). A correta seleção dos diâmetros das partículas e suas respectivas porcentagens faz com que os espaços vazios sejam preenchidos aumentando o empacotamento conforme a Figura 2.3.

Figura 2.3: Técnica de compactação: a) Camadas monodispersas, porosidade de monodispersões; b) Empacotamento aleatório, porosidade reduzida.



(PILEGGI, 2001)

As propriedades mecânicas, térmicas e acústicas de argamassas, materiais cerâmicos e concretos, são relacionadas ao empacotamento de partículas. Sistemas de empacotamento mais densos apresentam resistências à solicitação de esforços maiores (OLIVEIRA *et al.*, 2000; CALISTER, 2006).

2.1.2. Influência da granulometria das partículas

A quantidade de água necessária para misturar uma argamassa pode sofrer influência da distribuição granulométrica da argamassa e, principalmente da matriz. A quantidade mínima de água necessária para umedecer materiais à base de cimento tem relação com o empacotamento e a área superficial das partículas. Para a mesma área superficial, quanto maior o empacotamento de partículas, menor será a quantidade de água presente entre as partículas (WONG, 2008; KWAN, 2009).

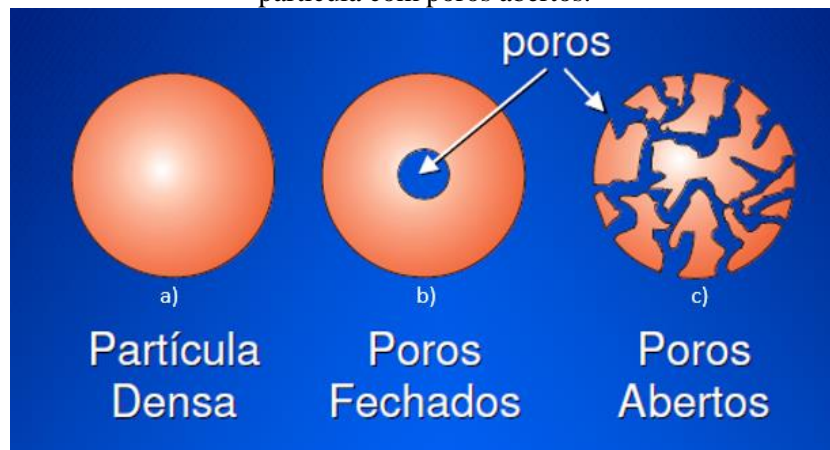
O cálculo da distância de separação entre partículas de uma suspensão pode ser obtido através do modelo teórico, que considera o efeito da curva granulométrica e, ainda, que as partículas ficam em contato quando o teor de líquido for menor que o volume de poros do sistema (OLIVEIRA *et al.*, 2000; PILEGGI, 2001; CARDOSO, 2009; KLEIN, 2016).

A distância de separação entre as partículas exerce influências consideráveis no comportamento reológico de suspensões, apresentando uma relação direta com a fluidez (OLIVEIRA *et al.*, 2000; PILEGGI, 2001; CARDOSO, 2009). Ao diminuir a porosidade do sistema, definida pela melhor proporção granulométrica, maior a distância de separação entre as partículas da suspensão, isso ocorre porque há uma sobra de líquidos para separar as partículas. A área superficial exerce influência de maneira contrária, de maneira que, quanto maior o seu valor mais líquido será necessário para envolver as partículas, desta forma, a distância de separação entre as partículas e a fluidez resultante são menores. Particularmente o conceito é aplicável às suspensões constituintes da matriz (cimento, pozolanas, argilas, adições e água) onde as forças superficiais atuam.

2.1.3. Influência da porosidade dos agregados

A porosidade dos agregados influencia na demanda de água necessária para cobrir toda a superfície agregados Figura 2.4, sendo que sua influência é diretamente proporcional à demanda de água, ou seja, maior porosidade acarreta em maior quantidade de água de amassamento (KLEIN, 2014; PUJADAS, 2015). Além de preencher a porosidade dos agregados, a água contribui para molhar as partículas dos materiais finos e agregados. Contudo, há uma quantidade mínima de água para cobrir a superfície das partículas. Essa quantidade mínima marca um limite, que ao excedê-lo contribuirá para a separação das partículas e na reologia da mistura (KLEIN, 2016). Em argamassas de revestimento, o excesso de água impacta em maior separação entre as partículas e consequentemente em exsudação (PILEGGI, 2001).

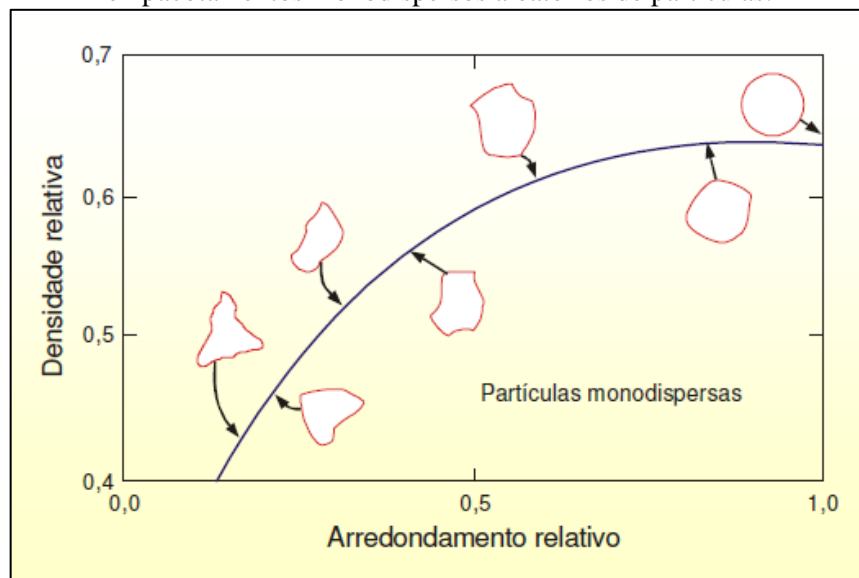
Figura 2.4: Porosidade dos grãos: a) partícula densa sem poros; b) partícula com poros fechados; c) partícula com poros abertos.



(PILEGGI, 2001)

A morfologia dos grãos interfere na densidade de empacotamento, de maneira que, quanto mais afastada da forma esférica menor será a densidade. A fricção interparticular surge pelo contato irregular das partículas, e quanto menor o tamanho das partículas irregulares, maior é o efeito em função da área superficial conforme ilustrado na Figura 2.5 (OLIVEIRA *et al.*, 2000; PILEGGI, 2001).

Figura 2.5: Relação qualitativa existente entre densidade relativa e o arredondamento relativo para empacotamentos monodispersos aleatórios de partículas.



(OLIVEIRA *et al.*, 2000)

2.2.FATORES QUE AFETAM O DESEMPENHO DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO

A maior adição de água em compostos cimentícios influencia nas propriedades no estado fresco (fluidez). O comportamento reológico com maior quantidade de água pode apresentar maior fluidez, quando o sistema não apresenta exsudação (CARDOSO, 2009).

Ao adicionar-se água em uma argamassa anidra, essa tem a função de molhar a superfície dos agregados funcionando como um dispersante entre as partículas, propiciando a trabalhabilidade ao sistema (KLEIN, 2016). Conforme o American Concrete Institute (ACI 116R-78) a trabalhabilidade é definida como a facilidade de misturar, aplicar e dar acabamento de concreto e argamassas no estado fresco. O conceito de trabalhabilidade é de certa forma relativo, pois depende de fatores como distribuição granulométrica, homogeneidade da mistura, e teor de água adicionada. O comportamento reológico das argamassas está ligado diretamente ao conceito de trabalhabilidade do material, à adição de água ao sistema que propicia a trabalhabilidade a argamassa e à manutenção da trabalhabilidade em canteiros de obra ocorre com o acréscimo de água (FUKUI, 2015). Contudo, fatores como o teor de água adicionado na mistura inicial, a homogeneidade da mistura, e energia e tempo de mistura são fatores que podem afetar o comportamento no estado a fresco da argamassa.

2.2.1. Teor de água na mistura

A falta de homogeneidade em uma argamassa de revestimento causada pela falta de água pode causar problemas de adesão no estado fresco da argamassa com o substrato. A escassez de água na argamassa para envolver efetivamente toda a composição do sistema, a qual interfere diretamente no fluxo, visto que, argamassas contendo quantidade de água insuficiente apresentam mais atritos entre as partículas do sistema, impactando na homogeneidade da mistura (CARDOSO, 2009).

O teor de água utilizado na mistura inicial das argamassas afeta a viscosidade do sistema, a água funciona como um lubrificante entre as partículas e, quanto maior o percentual utilizado na mistura, maior a distância entre as partículas e menor é a viscosidade do sistema. Por outro lado, o excesso de água pode acusar a segregação das partículas mais grossas da argamassa.

A literatura recente traz modelagens matemáticas para quantificar o volume mínimo de água necessária para molhar as partículas de cimento (KLEIN, *et.al.*, 2016). Essas modelagens provam que a relação água cimento (a/c) é provavelmente o parâmetro mais importante, cuja influência atua nas propriedades dos concretos e argamassas. Além da relação a/c , a quantidade de cimento também é utilizada como parâmetro importante relacionado às propriedades físicas e mecânicas (DE SCHUTTER; POPE, 2004).

Ao correlacionar o estudo feito por De Schutter; Pope (2004b), com os efeitos da distribuição granulométrica citado por Oliveira *et al.*, (2000), é possível verificar a existência de uma correlação entre a demanda de água e a densidade seca aparente da areia. A densidade aparente seca da composição revela-se como um parâmetro importante para estimar a influência da areia no comportamento reológico da argamassa.

2.2.2. Energia de mistura e tempo de mistura

A energia de mistura e o tempo de mistura são fatores que interferem nas propriedades da argamassa (ROMANO, 2013). Por isso, a boa qualidade da etapa de mistura é essencial para as demais etapas do processo de obtenção de revestimentos, pois exerce influência direta no comportamento reológico da argamassa e nas propriedades no estado endurecido (PILEGGI *et al.*, 2001; ROMANO *et al.*, 2009; FRANÇA, 2013).

De acordo com YANG (1995), mistura é uma atividade que busca a homogeneização de um material heterogêneo por meio de ações mecânicas e há basicamente dois processos físicos que atuam durante a mistura, (i) intensivo e (ii) extensivo:

- A mistura intensiva reduz a quantidade de aglomerados ligados por tensão superficial, cuja ruptura pode ocorrer quando a tensão hidrodinâmica excede a resistência das ligações, o qual proporciona alta tensão de cisalhamento pontual, sendo a melhor forma de dispersão de pós-coesivos como o cimento (YANG; JENNINGS, 1995; DEMEYRE, 2004).
- A mistura extensiva tem como principal processo atuante o cisalhamento da pasta de forma que a heterogeneidade é relacionada à tensão do misturado com a resistência dos aglomerados presentes. Esse processo incorpora as fases de mistura

pela deformação do fluido ao deslocamento relativo entre suas partículas (YANG; JENNINGS, 1995; DEMEYRE, 2004).

A primeira etapa do processo de mistura consiste na adsorção da água na superfície das partículas e, conseqüentemente, ocorre a formação dos aglomerados, devido às forças de interação de *van der Waals*, forças eletrostáticas entre posições de sítios com cargas opostas e forte interação ou ligação envolvendo as moléculas de água ou hidratos (CALLISTER, 2006; ROMANO et al, 2009).

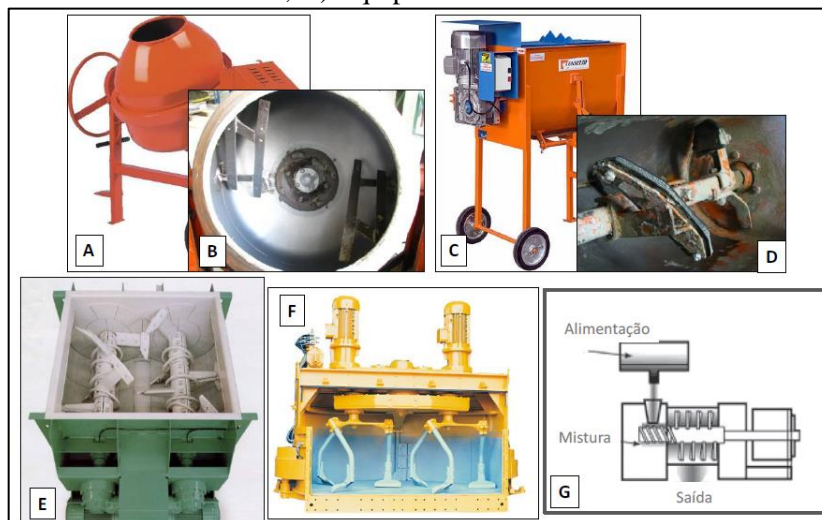
Essa aglomeração é responsável pela retenção de parte da água necessária para a mistura, que, caso a energia de cisalhamento não seja suficiente para o rompimento dos aglomerados, fica indisponível para hidratar a superfície das partículas de cimento e para fluidificar a mistura (PILEGGI et. al., 2001; BARBOSA, 2010; FRANÇA 2013).

Com o passar do tempo e continuação do cisalhamento, os aglomerados são rompidos e a água, antes contida em seu interior, é liberada e auxilia no afastamento entre as partículas (NOKHODCHI, 2005). Por isso, costuma-se dizer que a quantidade de água adicionada à argamassa atua como ponte entre as partículas, lubrificando o sistema, afastando-as, diminuindo o atrito entre os agregados e, conseqüentemente, reduzindo a viscosidade da argamassa (ANTUNES et al. 2005).

A dispersão das partículas aglomeradas predominantes na pasta aumenta a fluidez do sistema (COLLEPARDI, 1998) e uma mistura eficiente deve apresentar uma boa homogeneização e dispersão efetivas. Os compostos devem estar distribuídos uniformemente sem favorecimento de um ou outro material constituinte, sem apresentar aglomerados (PILEGGI et al., 2001).

Sendo assim, equipamentos com elevada energia de cisalhamento apresentam maior eficiência na desaglomeração, tornando o sistema mais homogêneo (ROMANO et al, 2006). Geralmente a mistura inicia-se com a homogeneização dos constituintes anidros (cimento, cal, areia, adições). Ao introduzir a água no sistema, há o início da formação de aglomerados, o qual posteriormente será destruído mecanicamente pela ação da mistura. A eficiência da mistura é influenciada pela energia que cada equipamento (Figura 2.6) impõe sobre as argamassas (FRANÇA, 2013).

Figura 2.6: Equipamentos utilizados na mistura de argamassas. A) Betoneira, mistura por bateladas, com eixo inclinado; B) Vista interna da betoneira; C) Equipamento de mistura por bateladas, com um eixo horizontal; D) Configuração do eixo central do misturador de eixo horizontal; E) Equipamento de mistura, por batelada, com dois eixos horizontais; F) Equipamento de mistura planetário, por batelada, de eixo vertical; G) Equipamento de mistura contínuo.



(FRANÇA, 2013)

O tempo de mistura influencia a homogeneidade da argamassa e, quando se utilizam tempos mais curtos, pode refletir em compostos mais heterogêneos acarretando em argamassas reologicamente instáveis, não havendo dispersão dos aglomerados e fluidez adequada da argamassa (FRANÇA, 2013). Conforme Romano (2013), o tempo e a forma de mistura, intensiva ou extensiva, influenciam na incorporação de ar em compostos cimentícios contendo aditivos incorporadores de ar.

As argamassas podem apresentar considerável teor de ar incorporado no estado fresco, seja pela ação mecânica da mistura em altas velocidades durante a preparação ou pela utilização de aditivos tensoativos (moléculas que apresentam uma extremidade hidrofílica polar e a outra hidrofóbica apolar), com a finalidade específica de incorporar ar (CARDOSO, 2009).

Tempos curtos de mistura não são suficientes para romper totalmente os aglomerados formados imediatamente após a inserção da água, resultando em materiais reologicamente instáveis e menos fluidos. Por outro lado, ao aumentar o tempo de mistura, o sistema apresenta uma melhor dispersão e homogeneização. Com o estudo das variadas velocidades, foi possível constatar que velocidades de mistura mais altas tendem a homogeneizar mais rapidamente o sistema (FRANÇA, 2013).

2.2.2.1. Homogeneidade da mistura

O processo de mistura tem como finalidade a quebra dos aglomerados com o intuito de deixar o sistema menos heterogêneo (PILEGGI et al, 2001) e, conforme citado por (ANTUNES, 2005), além da quantidade de água, a energia de mistura e o tempo de mistura são fatores que influenciam nas propriedades da argamassa.

O empacotamento de partículas influencia na quantidade de água necessária para que um composto cimentícios tenha a fluidez desejada (KLEIN, *et.al.*, 2016). Da mesma forma que o empacotamento de partículas, a morfologia e porosidade das partículas impactam na quantidade de água e consequentemente na homogeneidade e energia necessária de mistura (PILEGGI, 1996). De modo que produtos que apresentem menor energia de mistura atingirão a homogeneidade em menor tempo de mistura. As variáveis intrínsecas da mistura estão relacionadas à distribuição de tamanho de partículas, área superficial e a presença de alteradores de reologia que irão interferir na molhagem dos compostos citados. O tipo de misturador, manutenção do equipamento, o tempo de mistura, e a sequência de adição da água refletem os aspectos extrínsecos a mistura (FRANA, 2013).

As argamassas industrializadas utilizam em sua composição aditivos incorporadores de ar. De acordo com Du e Folliard, (2005), a adição desse aditivo na composição das argamassas possibilita melhorias na trabalhabilidade e coesão, além de facilidade de manuseio e aumento da produtividade, dentre outras.

A presença de ar incorporado no sistema reduz drasticamente as cargas necessárias para deformar o material. Dessa forma, argamassas com altos teores de ar apresentam comportamento predominantemente plástico para determinados níveis de deformação. As bolhas de ar aumentam o volume ocupado pela pasta e reduzem sua resistência, promovendo facilidade do fluxo da própria pasta e consequentemente maior lubrificação entre os agregados propiciando aumento do fluxo do sistema (CARDOSO, 2009).

Há vários fatores que podem influenciar as propriedades das argamassas, dentre elas destacam-se o tempo de mistura e a energia de mistura (ROMANO, 2013). Mistura realizada em betoneira, por aproximadamente 20 minutos, apresenta um teor de ar incorporado equivalente ao de uma mistura de 4 minutos em uma argamassadeira de laboratório (CASALI *et al.*, 2003). Argamassa sem adição de incorporadores de ar podem apresentar aumento de 3%

a 4% apenas por causa da mistura (NAKAKURA, 2003). Contudo, com a adição de aditivos incorporadores de ar esses valores podem variar de 25% a 75% do volume total da argamassa (VALORE, 1954; *apud*, ROMANO, 2013)

2.2.3. Retenção de água

A retenção de água é a capacidade da argamassa no estado fresco manter sua trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam perda de água (evaporação, sucção, absorção pelo componente (CINCOTTO et al., 1995).

Aditivos celulósicos aumentam a viscosidade da matriz (BROCKEN, 1998; PAES, 2004). A alteração da reologia da argamassa através do aumento da viscosidade, dificulta a saída de água de dentro do sistema, aumentando a capacidade de retenção de água, e tempo de utilização.

A necessidade da capacidade de retenção de água das argamassas no estado fresco, tem a finalidade de evitar que a água de amassamento seja absorvida rapidamente pelo substrato, assegurando assim as propriedades mecânicas no estado endurecido (POURCHEZ, 2006; PATURAL, *et al.*, 2011).

Na indústria, é comum a utilização de aditivos modificadores de reologia. Os mais usuais são os celulósicos, cujo objetivo principal é reter a água no sistema e consequentemente alternado propriedade reológicas, transporte de água, densidade no estado fresco da argamassa e teor de ar incorporado (POURCHEZ, 2006; POURCHEZ *et al.*, 2010).

Patural *et al.*, (2011) observou que a cadeia molecular dos éteres de celulose influencia na capacidade de retenção de água. Os autores verificaram que o aumento do peso molecular do éter aumenta a retenção de água da argamassa. Outro efeito detectado, foi a alteração do comportamento reológico, de modo que: quanto maior o maior a cadeia molecular, menor a tensão de escomaneto.

Contudo, outras propriedades como teor de partículas finas, área superficial da matriz e a própria quantidade de água tendem a influenciar a retenção de água da argamassa (BARBOSA, 2013).

2.2.3.1. Evaporação de água

Nos canteiros de obra o processo denominado de “ tempo de puxamento”, nada mais é que um processo físico e químico da argamassa de revestimento. Logo após o lançamento inicia-se um processo de consolidação da argamassa, sendo consequentemente de conformação plástica da argamassa, a qual ocorre devido à perda de água pela absorção do substrato e a sua evaporação para o ambiente, ocasionando perda de trabalhabilidade (BARBOSA, 2010)

A perda de água por evaporação devido às condições ambientais, inicia-se logo após a mistura da argamassa anidra com a água (DETRICHÉ; MASO, 1986; ANTUNES, 2005). Autores, como Davison (1986) e Póvoas (2002), analisaram a influência de perda de água por evaporação com base na execução de experimentos em temperatura e umidade controlada, aproximadamente 21°C e 50% respectivamente.

A perda de plasticidade da argamassa devido a evaporação de água e ao tempo de espera, foi evidenciado em trabalhos onde mensura-se o deslocamento da argamassa. Amostras de argamassas submetidas aos ensaios reológicos (squeeze-flow), demonstraram maiores resistência ao fluxo com o aumento no tempo de espera, o que pode ser atribuído pela perda de água por evaporação (BARBOSA, 2010). A perda de plasticidade das argamassas induz ao aplicador a adicionar mais água para que haja a trabalhabilidade para a aplicação.

2.2.4. Tempo de utilização

O termo tempo de utilização é o tempo que o pedreiro tem para aplicar o revestimento. A contagem do tempo de mistura inicia-se a partir da mistura inicial da argamassa anidra com água. As argamassas do mercado brasileiro indicam o tempo máximo de utilização das argamassas de revestimento de 2 horas contadas a partir na mistura inicial. No entanto, em muitos casos esse limite não é respeitado sendo esse tempo prolongado além do tempo indicado pelo fabricante.

O tempo de utilização é ligado diretamente ao processo químico dos ligantes (cal, cimento e adições). Ao se misturar o ligante com a água, inicia-se uma série de reações simultâneas e consecutivas, as quais são responsáveis pelo enrijecimento do material em função do tempo. Em argamassas mistas o cimento Portland compõe a matriz do sistema (cimento, cal, materiais

finos e ar aprisionado ou incorporado). A quantidade de matriz nas argamassas influencia diretamente a trabalhabilidade das argamassas. Menores teores de matriz apresentam pouca lubrificação entre as partículas facilitando o alto teor de contato friccionado entre os agregados, resultando em uma baixa fluidez. Aumentando a matriz do sistema, o escoamento da argamassa é verificado com maior facilidade pois diminuem o atrito entre os agregados e a fluidez passa a ser influenciada pela viscosidade da matriz (PILEGGI, 2001).

A prolongação da utilização das argamassas de revestimento pode alterar o comportamento reológico. Cardoso (2009), através da análise de *squeeze-flow*, evidenciou o aumento de viscosidade da pasta da argamassa após 60 minutos contando a partir da mistura, consequentemente houve redução da sua capacidade plástica de manter a coesão do material e de lubrificação entre os agregados. Durante o período de 60 minutos, a pasta composta por aglomerante, água e aditivos, sofre influência reológica pela perda de água por evaporação, e reações iniciais de hidratação do cimento, como dissolução do material anidro, aumento de pH, aumento da força iônica do meio e precipitação de Etringita e formação do gel de silicatos de cálcio (C-S-H). No período de 60 minutos, não há tempo suficiente para uma considerável formação de fases hidratadas ligantes, porém há perda de fluidez (SCRIVENER, 1989; OLIVEIRA *et al.*, 2000). A utilização da argamassa em maiores tempos influencia a trabalhabilidade ocasionando no acréscimo de água, e consequentemente impactando no desempenho no estado endurecido.

2.3.INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE ÁGUA NO DESEMPENHO DE ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO

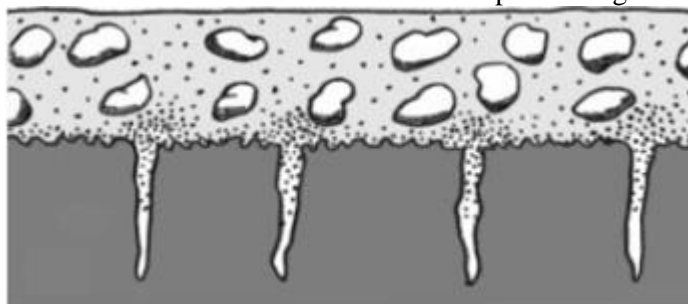
As alterações ocorridas no estado fresco da argamassa podem alterar as características no seu estado endurecido, sejam alterações devido ao grau de homogeneidade, teor de água, teor de ar incorporado e tempo de utilização (CARDOSO, 2009; BARBOSA, 2010; FRANÇA, 2013).

2.3.1. Resistência de aderência

A aderência pode ser definida como o estado no qual duas fases mantêm-se unidas por contato interfacial, de modo que as forças mecânicas ou trabalhos possam ser transferidos através da interface como se fosse uma peça inteiriça (WU, 1982).

A água exerce influência na aderência, propiciando o fluxo da matriz para o substrato (Figura 2.7), essa é uma das associações pertinentes ao desenvolvimento da aderência. No entanto, não existe uma quantificação do material que penetra nos poros, tampouco uma comprovação ou negação que haja colmatação dessas partículas (COSTA, 2014).

Figura 2.7: Mecanismo de intertravamento da matriz nos poros e rugosidades do substrato.



(<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/279/anexo/ativosmanu.pdf>)

A água é um composto essencial para que ocorra a colmatação dos poros. Porém o maior acréscimo de água afeta o composto cimentício de várias formas. Ao aumentar a quantidade de água há aumento de segregação, retração e porosidade (MANUEL, 2005). Em 2009, Alonso observou que quanto maior a porosidade da argamassa, menor a resistência à compressão. A resistência à compressão e resistência à tração de argamassa de cimento diminuem com o aumento da proporção de a/c (SINGH, *et. al.*, 2015).

Vários fatores influenciam na resistência de aderência, dentre os já citados há a retenção de água, de forma que argamassas com elevada retenção de água apresentam uma maior resistência de aderência à tração, sendo que o possível motivo está na redução da saída de água para o substrato e para o ambiente, ocasionado uma diminuição da retração plástica e por secagem (ALVES, 2002).

2.3.2. Variação dimensional

Samman *et al.*, (1996) apud Cortez (1999), apud Alves (2002), verificaram que a retração plástica ocorre nas primeiras horas após a aplicação, antes do final da pega do cimento, enquanto o material ainda possui plasticidade. A correlação entre a retenção de água e a retração da seguinte forma: quando a água presente na argamassa secar rapidamente, ocorrerá uma retração do material e provocará a formação de fissuras prejudiciais (Figura 2.8). Caso a secagem da água ocorra mais lentamente, pode ocorrer a formação de microfissuras, as quais não são prejudiciais (ALMEIDA, 1995; MACIEL, 1997; ALVES, 2002). Logo, argamassas com maiores adições de água e menor retenção de água apresentam maiores variações dimensionais.

Figura 2.8: Fissuras em argamassa de revestimento.



(O AUTOR)

A variação dimensional pode ser proveniente da retração por secagem que assim como na retração plástica, ocorre pela perda de água para o meio externo, em argamassas com maiores adições de água a retração plástica é mais evidenciada (MANUEL, 2005). A mediada da retração de argamassas é importante para estudos de caracterização e desempenho de revestimentos (BASTOS *et al.*, 2005). A retração das argamassas de revestimento sofre influência direta sobre a quantidade de material passante na peneira 0,075 mm. O aumento do teor de finos, embora melhore a capacidade de retenção de água, diminui o diâmetro médio dos capilares da argamassa, gerando maior tensão na saída de água durante a secagem (BASTOS, 2001).

Pode se definir duas características dessa retração plástica, uma é que ela possui uma parcela reversível e outra irreversível. A definição destas parcelas e seus limites é importante para definição de qual prática escolher para melhoria da estabilidade dimensional. Essa classificação se dá devido a adoção de um processo de cura com ciclos de molhagem em que

grande parte da retração que ocorre antes da primeira molhagem é irreversível, e uma pequena parte dos poros do material consegue expandir de volta ao seu tamanho original que é a parcela reversível (MINDESS, YOUNG 1981).

2.4. REOLOGIA – ESTUDO DO FLUXO

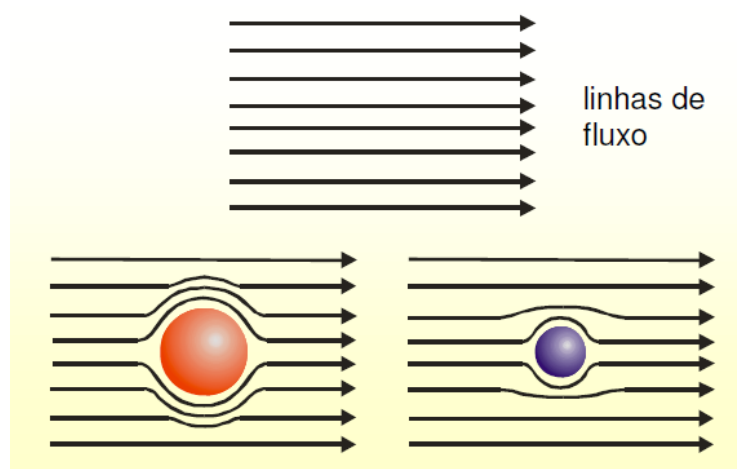
2.4.1. Reologia das suspensões

A reologia é o estudo da deformação e do fluxo do material, com ênfase no fluxo e sua relação entre tensão, deformação, taxa de deformação e o tempo (BANFIL, 2003). A palavra reologia tem origem grega, de forma que *rheos* = fluir e *logos* = estudo, e trata-se de uma ciência onde se estuda o fluxo e a deformação dos materiais quando submetidos a uma determinada tensão ou sollicitação mecânica (GLATTHOR; SCHWEIZER, 1994).

As emulsões e suspensões de partículas destacam-se entre os fluidos estudados pela reologia. As suspensões são formadas por misturas de partículas sólidas envolvidas por um líquido. As partes sólidas da mistura atuam como unidades resistentes ao fluxo dificultando o escoamento do fluido, conseqüentemente aumentando a viscosidade do fluido (PILEGGI, 2001).

Para a compreensão da influência da viscosidade de um líquido sobre a partícula inserida nesse meio, necessita-se imaginar a presença de um sólido esférico entre lâminas paralelas de um fluido do modelo citado por Newton. As partículas sólidas em meio fluido perturbam as linhas de fluxo aumentando a resistência do sistema ao escoamento (aumento da viscosidade) (OLIVEIRA *et al.*, 2000; CARDOSO, 2009). O comportamento reológico das suspensões é afetado por vários fatores: concentração volumétrica de sólidos, características do meio líquido, temperatura, características físicas como tamanho das partículas (Figura 2.9), (PILEGGI 1996; OLIVEIRA *et al.*, 2000).

Figura 2.9: Desenho esquemático indicando o efeito de uma partícula e o tamanho sobre as linhas de fluxo de um fluido submetido ao cisalhamento.



(PILEGGI, 1996)

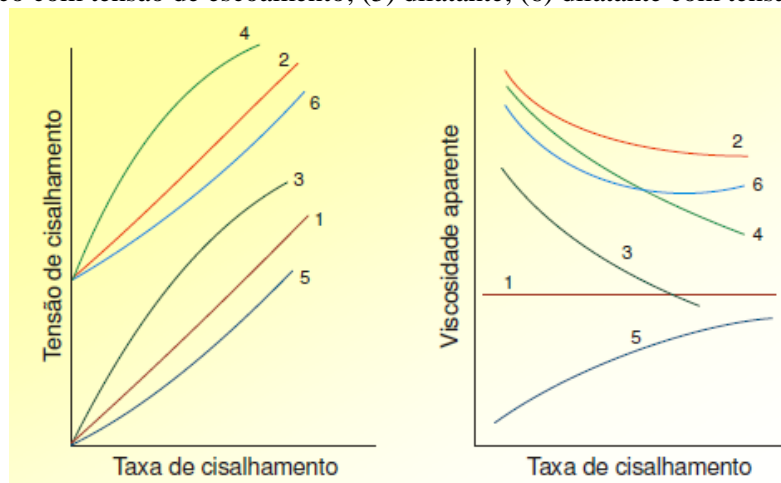
Sistemas que apresentam baixa frequência de colisões entre as partículas, onde a concentração de sólidos da suspensão é altamente reduzida com percentuais abaixo de 5%, a viscosidade da suspensão é constante em função da taxa/tensão de cisalhamento, comportando-se como um fluido newtoniano. Para estes casos, os fatores principais interferentes na viscosidade da suspensão são: (i) concentração volumétrica dos sólidos, (ii) viscosidade, densidade do líquido e (iii) temperatura (OLIVEIRA *et al.*, 2000).

Por outro lado, quando o percentual de sólidos na suspensão é elevado, além da dependência dos fatores mencionados anteriormente, as partículas interagem entre si, desviando o comportamento das suspensões para modelos não newtonianos, o qual passa a ser influenciados pelos fatores como:

- Características físicas da partícula: distribuição granulométrica, densidade, área e rugosidade superficial etc.
- Interação entre as partículas: repulsão, atração etc.
- Concentração de moléculas de dispersante no meio líquido.
- Peso molecular e conformação espacial da molécula de dispersante.
- Espessura da camada de moléculas de dispersante adsorvidas em torno das partículas.

Na Figura 2.10 são representados os comportamentos reológicos das suspensões em função da taxa de cisalhamento (OLIVEIRA *et al.*, 2000).

Figura 2.10: Comportamento básico de fluidos: (1) newtoniano; (2) de Bingham; (3) pseudoplástico; (4) pseudoplástico com tensão de escoamento; (5) dilatante; (6) dilatante com tensão de escoamento.



(PILEGGI, 2001)

Utilizando a viscosidade relativa, o qual corresponde à razão entre a viscosidade da suspensão e a viscosidade do meio, pode-se expressar a viscosidade de maneira que seja possível comparar suspensões formadas a partir de diferentes tipos de meio líquido (OLIVEIRA *et al.*, 2000). De forma geral, uma argamassa de revestimento deve apresentar idealmente um comportamento pseudoplástico para facilitar espalhamento, nivelamento e acabamento, mas com elevada viscosidade ou uma considerável tensão de escoamento para manter-se estável após as etapas citadas (CARDOSO 2009). Há duas classes de fluidos não Newtonianos: i) fluidos com comportamento reológico independentes do tempo; ii) fluidos dependentes do tempo

2.4.2. Comportamento independente do tempo

A Figura 2.11, apresenta os fluidos independentes do tempo, os quais são: os pseudoplásticos, com ou sem tensão de escoamento; os dilatantes, com ou tensão de escoamento. Argamassas quando submetidas à uma tensão de escoamento podem apresentar dilatância ou pseudoplasticidade, e são denominados de fluidos de Bingham:

- Fluidos Pseudoplásticos: O aumento da taxa de cisalhamento diminui a viscosidade. As características físicas das partículas causam esses tipos de comportamento, assim como o dispersante presente no meio líquido, o peso molecular e o tipo de

interação entre as partículas também são responsáveis por esse efeito. A pseudoplasticidade é resultante de atuações do movimento browniano das partículas e de forças hidrodinâmicas. O comportamento pseudoplástico é detectado em taxas de cisalhamento intermediárias como resultado das ações entre os efeitos randômicos do movimento browniano e ordenamento das forças hidrodinâmicas (OLIVEIRA *et al.*, 2000).

- Fluidos Dilatantes: Pode-se dizer que fluidos dilatantes possuem uma relação diretamente proporcional à tensão de cisalhamento aplicada, ou seja, a viscosidade aumenta quando há um aumento da taxa de cisalhamento. O comportamento dilatante, é característico de suspensões altamente concentradas, de forma que as partículas estão bem empacotadas e próximas entre si. Fatores com elevada rugosidade superficial e formato assimétrico, acentuam o atrito durante as colisões, contribuindo para a ocorrência de dilatância. Distribuições granulométricas muito estreitas também podem originar o comportamento dilatante, reduzindo a separação entre as partículas o que dificulta o deslocamento no meio líquido (OLIVEIRA *et al.*, 2000).

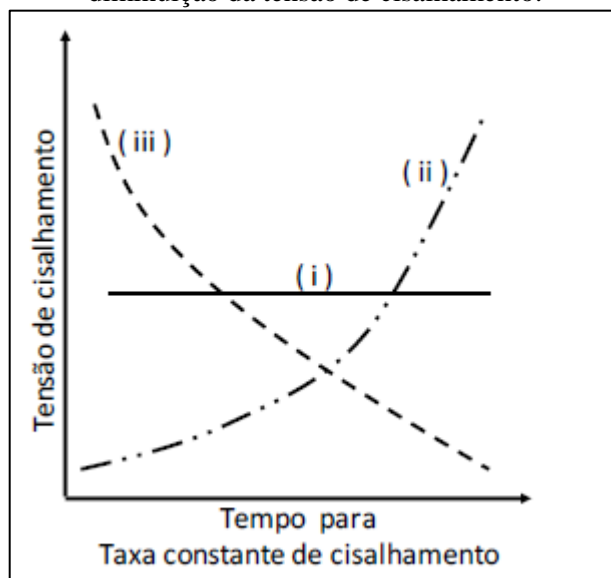
2.4.3. Comportamentos dependente do tempo

O comportamento de suspensões cujas características reológicas são dependentes do tempo apresenta variação de viscosidade em função da taxa de cisalhamento. Tal comportamento é relacionado com a alteração da estrutura do material, o qual se enquadra em dois tipos de comportamento: tixotrópico ou reopéxicos (STEFFE, 1996).

- Fluidos Tixotrópicos: A tixotropia consiste na diminuição da viscosidade aparente em função do tempo em suspensões submetidas a uma taxa de cisalhamento constante. A consistência é influenciada tanto pela duração do cisalhamento quanto pela taxa de cisalhamento. Sob condições estacionárias se tornam mais fluídos com o aumento do tempo de escoamento (Figura 2.11) (OLIVEIRA *et al.*, 2000).
- Fluidos Reopéxicos: Sob taxa de cisalhamento constante apresenta um aumento de viscosidade. Com o aumento do tempo o material demonstra maior resistência ao escoamento quando sujeito ao cisalhamento sob condições estacionárias. Suspensões com partículas cujas forças de atração acentuam entre si, no decorrer

do tempo, aumenta a probabilidade de formação de aglomerados, podendo originar o comportamento reopéxico (Figura 2.11) (OLIVEIRA *et al.*, 2000).

Figura 2.11: Comportamento reológico de fluidos dependentes do tempo, tensão de cisalhamento em função do tempo, para taxa constante de cisalhamento: i) comportamento de um fluido independente do tempo; ii) fluidos reopéxicos, aumento da tensão de cisalhamento; iii) fluidos tixotrópicos: diminuição da tensão de cisalhamento.



(STEFEE, 1996)

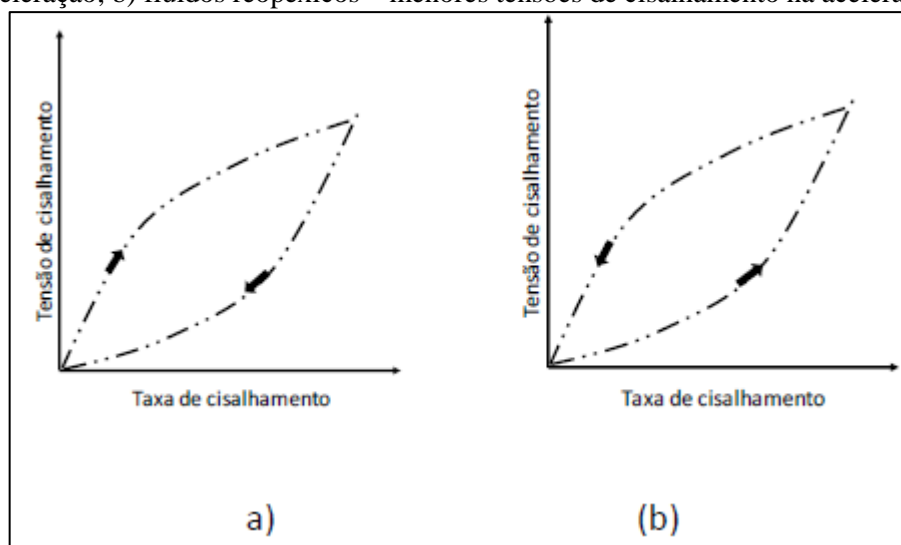
Ao submeter um fluido (argamassa) com comportamento reológico dependentes do tempo à taxa de cisalhamento variável (aceleração e desaceleração), o fluido apresenta área de histerese na curva de taxa de cisalhamento versus tensão de cisalhamento (STRUBLE; JI, 2001; BETIOLI, 2007). Os fluidos tixotrópicos apresentam maiores valores de tensão de cisalhamento na aceleração. Quando aplicada taxas de cisalhamento para desaceleração o fluido apresenta menores valores de tensão de cisalhamento (Figura 2.12-a). Já os fluidos reopéxicos apresentam menores tensões de cisalhamento na aceleração do que na desaceleração (Figura 2.12- b).

O aumento da taxa de cisalhamento nos fluidos tixotrópicos promove uma desaglomeração das partículas floculadas, ao diminuir a taxa o fluido possui menor resistência ao fluxo, pois os aglomerados já foram desfeitos, o que resulta em menores tensões de cisalhamento (BARBOSA 2010).

Em pastas de cimento, a intensidade de mistura pode influenciar em um período de até duas horas, cujos sistemas com menores intensidades de mistura são responsáveis por maiores

valores de tensão (YANG; JENNINGS, 1995). Isto pode ser explicado devido a presença de aglomerados que em baixas energias de mistura não são dispersos, promovendo maior dificuldade de fluxo na pasta e consequentemente nas argamassas (BARBOSA 2010).

Figura 2.12: Curvas de histerese para comportamentos reológicos dependentes do tempo submetidos a ciclos de aceleração e desaceleração: a) fluidos tixotrópicos – maiores tensões de cisalhamento na aceleração; b) fluidos reopéxicos – menores tensões de cisalhamento na aceleração.



(MALKIN, 1994; BETIOLI, 2007)

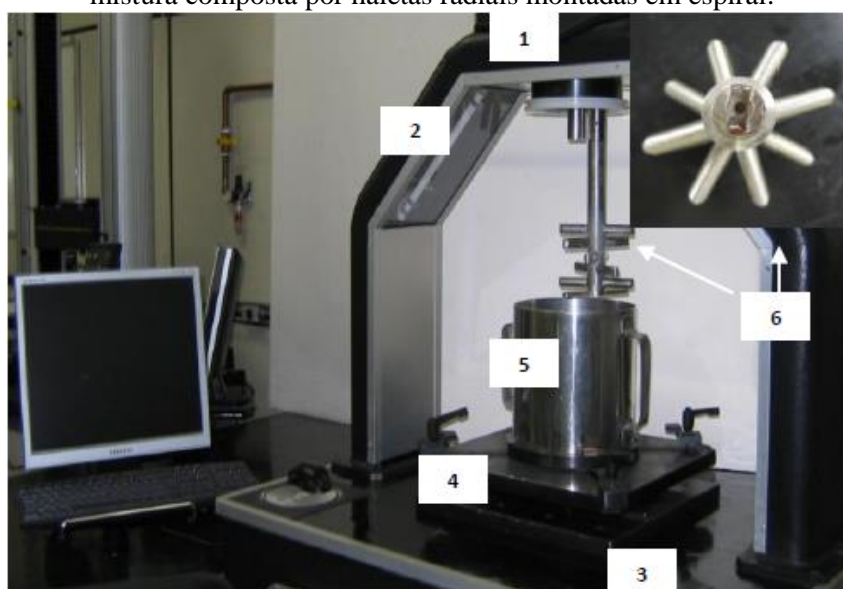
2.5. TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE ARGAMASSAS

A evolução de técnicas de caracterização reológica de argamassas é citada na literatura. Técnicas tradicionais como “flow-table”, “dropping ball” e penetrômetros, são ensaios estacionários que analisam a argamassa apenas em uma determinada taxa de cisalhamento. Novas técnicas como *squeeze-flow* permitem analisar a argamassa em fluxo constante e sob taxas distintas de cisalhamento, podendo dessa forma extrair informações inerentes ao estado de homogeneização da argamassa. Outra técnica tem origem a partir dos reômetros de argamassas, que possibilita mensurar a energia necessária para que a argamassa atinja a homogeneidade, e analisar o procedimento de mistura utilizado. Além da análise de energia de mistura, o equipamento possibilita extrair informações do comportamento do fluido em diferentes solicitações de energia.

2.5.1. Reometria rotacional

Com o objetivo de obter um mapeamento reológico mais preciso das argamassas, o Laboratório de Microestrutura do PCC-USP (Figura 2.13), desenvolveu um reômetro rotacional em 2004 para avaliar as suspensões com capacidade de simular situações em diferentes níveis de stress da argamassa. Os níveis são os mais variáveis, e vão do início da mistura, transporte, lançamento ao acabamento da argamassa. Para isso, o equipamento possui movimentos planetários em conjunto com a pá em geometria espiral (CARDOSO 2009; BARBOSA 2010).

Figura 2.13: Reômetro para argamassas, destaque dos componentes: 1) torre superior; 2) dispositivo rotacional; 3) base de reação e console; 4) elevador; 5) recipiente de ensaio; 6) geometria da pá de mistura composta por haletas radiais montadas em espiral.



(BARBOSA, 2010)

O sistema planetário do reômetro apresenta dois movimentos distintos, os quais são empregados um de rotação imposto pela geometria de ensaio em torno de seu próprio eixo e o outro, movimento de translação em torno do eixo central. Nesse sentido, o parâmetro velocidade refere-se à rotação da geometria de ensaio em torno de seu próprio eixo.

Os reômetros rotacionais possibilitam a execução de análises em diversas solicitações em diferentes condições de cisalhamento, podem-se executar ensaios com fluxos de cisalhamento estacionário ou oscilatórios, com aumento e decréscimo de tensão ou deformação, varreduras de cisalhamento e frequências, sendo possível realizar as determinações em função do tempo e temperatura (COSTA, 2007; BARBOSA, 2010).

A utilização de reômetros possibilita executar avaliações reológicas de suspensões em argamassas e concretos. Os resultados obtidos através dos reômetros possibilitam determinar parâmetros de viscosidade e tensão de escoamento através de dois princípios básicos de funcionamento: (1) submeter à suspensão a força (torque), medindo-se o cisalhamento resultante ou (2) o cisalhamento aplicado é controlado, avaliando-se qual o torque necessário para que o cisalhamento ocorra (PILEGGI 2001).

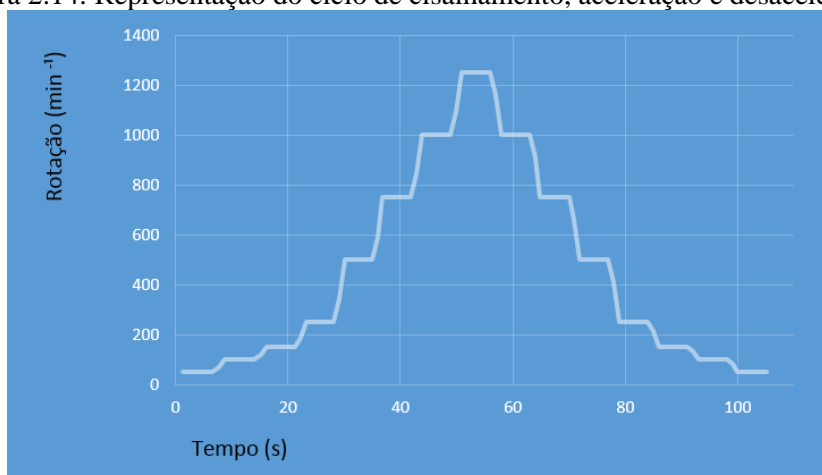
2.5.1.1. Ensaio de fluxo

O sistema planetário do reômetro apresenta dois movimentos distintos, os quais são empregados um de rotação imposto pela geometria de ensaio em torno de seu próprio eixo e o outro movimento de translação em torno do eixo central. Nesse sentido, o parâmetro velocidade refere-se à rotação da geometria de ensaio em torno de seu próprio eixo. Diferentes geometrias podem ser utilizadas para obtenção de fluxo laminar entre elas encontram-se as placas paralelas, o uso de dois cilindros concêntricos, bem como o uso de placa e um cone, para ambas as configurações uma das partes permanece estática enquanto a outra movimenta (STEFFE 1996; SCHRAMM, 2006)

O ensaio de fluxo leva a suspensão ao *stress*, de modo que, a suspensão é submetida à uma carga de aceleração de desaceleração da taxa de tensão de cisalhamento, obtendo como resultado a tensão em função da taxa de cisalhamento, que pode ser expressa por curva de escoamento. A partir desses resultados, obtêm-se parâmetros reológicos como viscosidade e a tensão de escoamento (PAPO; PIANI, 2004; BETIOLI, 2007).

O procedimento referente aos ciclos de cisalhamento consiste em impor ao material diferentes velocidades de rotação da geometria de ensaio em torno de seu próprio eixo (6,3 a 316,3 rpm) em patamares de 5 segundos, primeiro acelerando e depois desacelerando, conforme Figura 2.14 (CARDOSO, 2009).

Figura 2.14: Representação do ciclo de cisalhamento, aceleração e desaceleração.



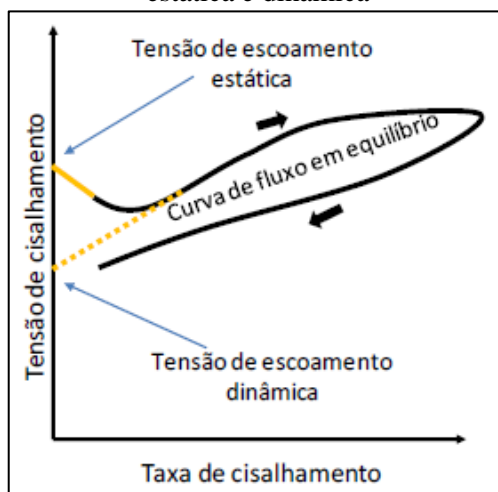
(ADAPTADO DE CARDOSO, 2009)

Para cada ponto da curva de escoamento é possível calcular a viscosidade aparente, dividindo-se o valor da tensão de cisalhamento pela taxa de cisalhamento. Por outro lado a tensão de escoamento é de certa forma subjetiva, tendo em vista que não se mede o valor da tensão de cisalhamento igual a zero, ao passo que a tensão de escoamento representa o esforço necessário sob o fluido para que ele inicie o fluxo (BARBOSA 2010).

Alguns autores consideram que existem dois tipos de tensão de escoamento: uma que relaciona estrutura do material em repouso, considerada como tensão de escoamento estática sendo facilmente desestruturada ao ser; e a outra tensão insensível a taxa de cisalhamento e segue a curva de equilíbrio do fluxo, tensão de escoamento dinâmico (Figura 2.15) (STEFEE, 1996).

Os resultados obtidos a partir do ensaio de fluxo, possibilita extrair informações relevantes a respeito do comportamento do fluido de suspensões cimentícias (argamassa). A aceleração no ensaio de fluxo pode ocasionar desaglomeração, e se a taxa ou tensão de cisalhamento aplicada na aceleração for suficiente para quebrar as estruturas aglomeradas, pode gerar menores valores de tensões ou taxas de cisalhamento na desaceleração, apresentando a área de histerese (Figura 2.15), de forma que maiores áreas de histerese indicam que a mistura não atingiu a homogeneidade (BARBOSA 2010; FRANÇA 2013).

Figura 2.15: Extrapolação da curva de aceleração do fluxo para obtenção das tensões de escoamento estática e dinâmica

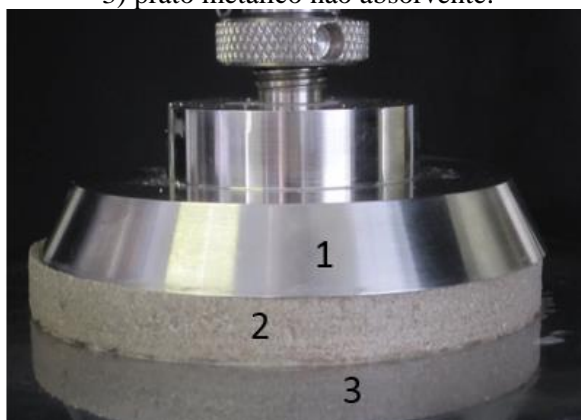


(STEFEE, 1996; BARBOSA, 2010)

2.5.2. Ensaio Squeeze flow

O ensaio de caracterização reológica executado através do método squeeze-flow, demonstra o estado de homogeneização do sistema após o processo de mistura inferindo. Este método consiste em comprimir uma amostra cilíndrica (Figura 2.16) entre duas placas paralelas com velocidade controlada e força normal também controlada (ENGMANN; SERVAIS; BURBIDGE, 2005).

Figura 2.16: Ensaio Squeeze-flow: 1) punção superior; 2) amostra de argamassa fresca a ser analisada; 3) prato metálico não absorvente.



(O AUTOR)

O emprego deste ensaio squeeze-flow permite obter resultados quantitativos, através de equações diferenciais que representam, além das leis de conservação de massa e de momento, as condições de contorno inerentes as configurações de ensaio e ao movimento das partículas em fluxo

radial ao serem comprimidas (ENGMANN *et al.*, 2005). As partículas tendem a migrar radialmente, saindo de regiões de alta concentração no interior da amostra para regiões das bordas externas (RAMACHANDRAN; LEIGHTON, 2010).

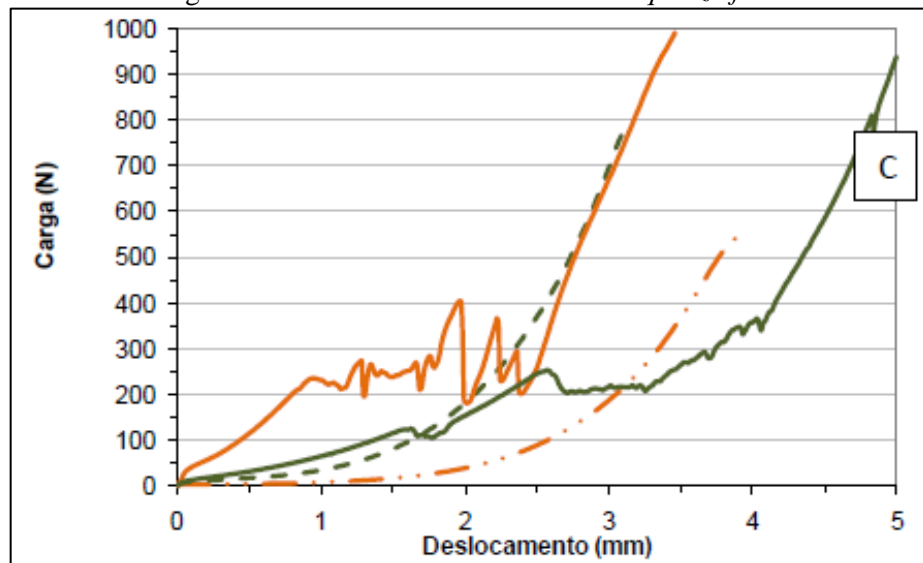
O ensaio squeeze-flow é realizado em diversas configurações geométricas e recebe diferentes denominações (ENGMANN *et al.*, 2005), assim como é aplicado em distintos ramos, tais como indústria de alimentos, farmacêutica e cerâmica. Desde 1994 o ensaio tem sido aplicado em pastas cimentícias e argamassas de revestimento (MIN *et al.*, 1994; ANTUNES, *et al.* 2005; CARDOSO *et al.*, 2005; TOUTOU *et al.*, 2005; BETIOLI, 2007).

Independentemente da configuração e do material analisado o princípio básico do ensaio é o mesmo, ou seja comprimir a amostra entre duas placas paralelas. A resposta reológica da amostra depende das condições de contorno, tais como: dimensões das placas; volume da amostra; distribuição de carga, tensão e deformação (OZKAN *et al.*, 1999).

O ensaio squeeze-flow pode ser realizado com diferentes taxas de cisalhamento, seja por controle do deslocamento das placas ou assim como oscilação e parâmetros de relaxação, fatores que contribuem para o mapeamento das propriedades reológicas (CARDOSO *et al.*, 2005).

A literatura sugere que exista uma competição entre a migração do conjunto de partículas dirigidas pelo cisalhamento radial induzido, e o rearranjo delas dentro de uma microestrutura ordenada dirigida pelas interações locais (DESHPANDE; SHAPLEY, 2010). Cardoso (2009) utilizou o método squeeze flow para caracterizar variadas formulações, afim de obter dados para compreender os fenômenos que governam o fluxo e, identificar alterações decorrentes do processo de mistura.

O mapeamento reológico de argamassas realizado com base na reometria rotacional e na avaliação do comportamento reológico com base no método squeeze-flow (Figura 2.17) permite uma compreensão do comportamento do sistema no estado fresco, e fornece informações úteis a respeito do seu estado de dispersão e homogeneização durante e após o processo de mistura. Este entendimento é de extrema relevância, pois nesse período são tomadas as decisões que repercutirão no estado endurecido (FRANÇA, 2013).

Figura 2.17: Gráfico extraído do ensaio *squeeze-flow*

(BARBOSA, 2010)

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental teve como base argamassas industrializadas para o emprego em revestimentos de paredes, produzidas no território nacional em cinco (4) regiões: Sul (SU), Sudeste (SD), Centro-Oeste (CO), e Nordeste (ND). Na Figura 3.1 cada argamassa está referenciada à região de comercialização.

Figura 3.1: Argamassa e sua regional.

Código	Região
ARG 1	CO
ARG 2	ND
ARG 3	SD
ARG 4	SD
ARG 5	SD
ARG 6	SD
ARG 7	SU
ARG 8	SU
ARG 9	SU
ARG 10	SU

(O AUTOR)

As argamassas de revestimento foram analisadas com base em duas normas: a ABNT NBR 13281 – 2005 que analisa parâmetros em laboratório a fim de verificar a classificação declarada pelo fabricante, e a segunda na ABNT NBR 13749 – 2013, que especifica requisitos para as argamassas de revestimento, *in loco*, de acordo com a utilização (área interna ou externa). As argamassas foram analisadas de acordo com ambas as normas. Para a análise *in loco*, foi necessário o auxílio de um pedreiro para a aplicação das argamassas, neste caso em uma área total do painel de 1,5 m². O aplicador com experiência de mais de 30 anos de profissão como pedreiro executou todas as aplicações.

Com a finalidade de evitar desperdícios das amostras, foram misturados 2,5 kg conforme ABNT NBR 13276 de cada argamassa sendo utilizado a água indicada pelo fabricante. Esse procedimento tem a finalidade de verificar se a quantidade de água indicada na sacaria de cada produto possibilitaria a trabalhabilidade para a aplicação de revestimento, de acordo com a opinião do pedreiro.

Após definido o teor de água a ser adicionado em cada argamassa, foi realizada a caracterização em laboratório de acordo com a ABNT NBR 13281 – 2005. Essa norma prescreve as informações que os fabricantes necessitam inserir em cada sacaria do produto. As argamassas de revestimentos, devem ser classificadas de acordo com a ABNT NBR 13281 – 2005, e essa classificação deve constar na sacaria do produto, da mesma forma que o teor de água a ser utilizado além do tempo adicional de mistura para caracterização em laboratório.

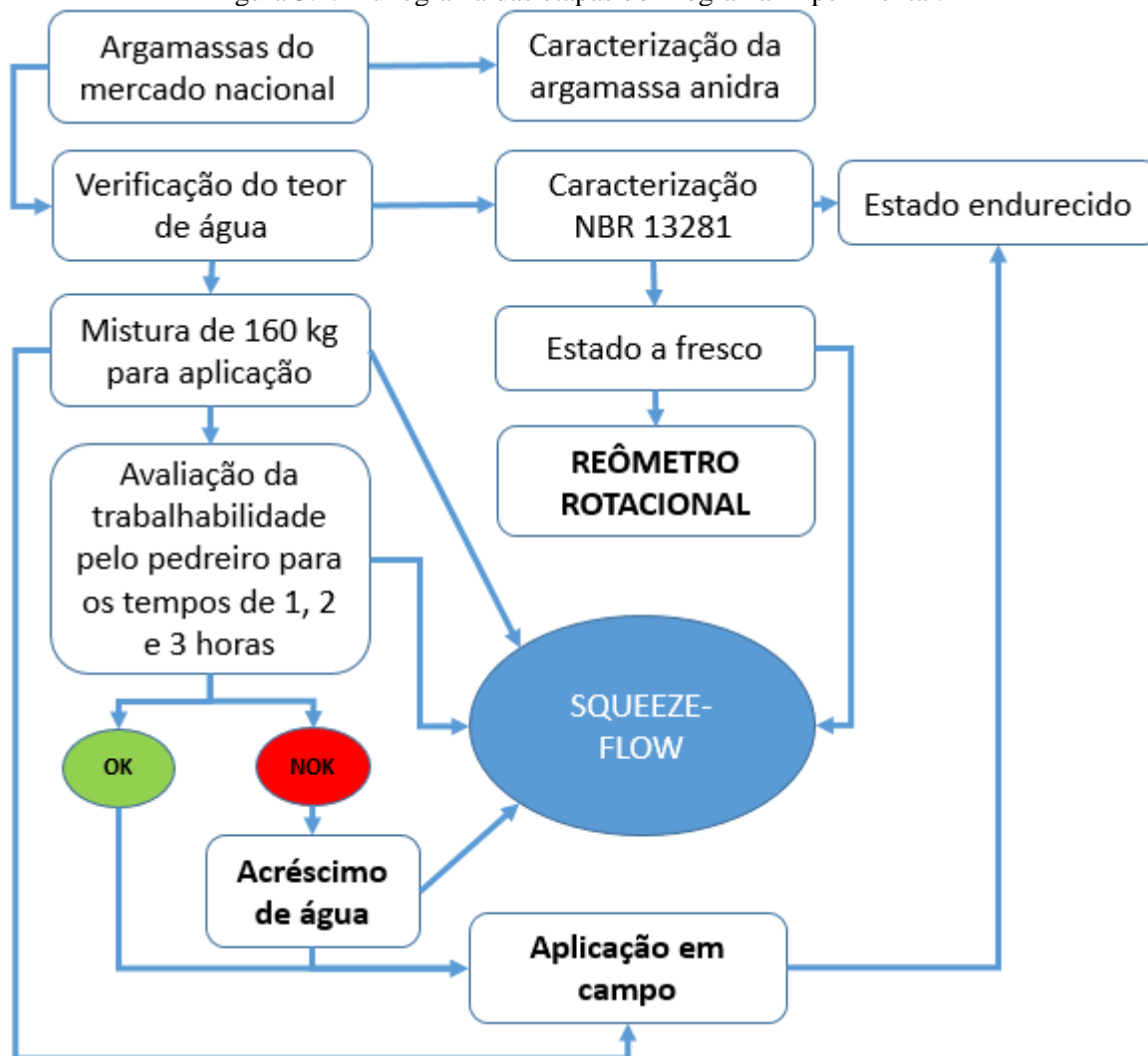
Para a aplicações dos painéis foi utilizado o teor de água utilizado na caracterização em laboratório, foram misturados cerca de 160 kg de argamassa em misturador planetário de eixo vertical. Após a mistura a argamassa foi separada em 4 caixas contendo aproximadamente 40 kg cada, todas as amostras ficaram em ambiente controlado com temperatura de 23 ± 2 °C e umidade de 60 ± 5 %, sendo retiradas apenas para as aplicações nos painéis testes.

Os painéis para cada aplicação possuem a dimensão de 1,5 m x 1 m. As aplicações das argamassas ocorreram em painéis em área externa com tempos de 0, 1, 2 e 3 horas, e tem a finalidade de verificar a resistência de aderência das argamassas conforme ABNT NBR 13528 – 2010.

Antecedente a cada aplicação, a argamassa foi submetida ao ensaio squeeze-flow, a fim de verificar a alteração do comportamento reológico e, paralelamente foi solicitado ao pedreiro a

sua opinião a respeito da trabalhabilidade da argamassa. Caso o pedreiro aprovasse a trabalhabilidade da argamassa sem a necessidade de adição de água, a argamassa era analisada, aplicada e moldada em formas prismáticas de 4cm x 4cm x 16cm. Contudo, caso a opinião fosse negativa quanto à trabalhabilidade, o pedreiro possuía total liberdade para acrescentar água a fim de atingir a trabalhabilidade desejada. Após o acréscimo de água, a argamassa era submetida novamente ao ensaio squeeze flow, análise no estado fresco, aplicação e moldagem. A Figura 3.2 apresenta o fluxograma das principais etapas do programa experimental. A Figura 3.3, traz um resumo das análises, repetições, e normas e procedimentos interno utilizados para a execução de cada ensaio referente às etapas fluxograma.

Figura 3.2: Fluxograma das etapas do Programa Experimental.



(O AUTOR)

Figura 3.3: Ensaios e repetições para as caracterizações no estado anidro, fresco e endurecido da argamassa.

Caracterização		Norma de referência	Repetições / corpo de prova	Análise / resultado
Caracterização da argamassa anidra	Granulometria agregado miúdo - Camsizer XT	PI	1	Resultado - da curva granulometria do agregado miúdo
	Granulometria a laser dos finos - Malvern Mastersizer	PI	3	Média - curva granulométrica dos finos
	Identificação de fases agregado miúdo - Difração de Raio X	PI	1	Resultado - mineralogia do agregado miúdo
	Massa específica da argamassa	NM 23	2	Média - massa específica
Caracterização da argamassa no estado fresco	Densidade no estado a fresco	NBR 13278	3	Média - densidade a fresco
	Teor de ar incorporado	NBR 13278	3	Média - teor de ar incorporado
	Retenção de água	NBR 13277	3	Média - retenção de água
	Squeeze flow	NBR 15839	3	Média - curva de squeeze flow
	Energia de mistura - reometria rotacional	PI	3	Média - energia de mistura
	Comportamento reológico - reometria rotacional ensaio de ciclo	PI	3	Média - ciclo de mistura
Caracterização da argamassa no estado endurecido	Resistência à flexão	NBR 13279	3	Média - desvio relativo máximo
	Resistência à compressão	NBR 13279	6	Média - desvio relativo máximo
	Módulo de elasticidade	NBR 15630	3	Média - módulo de elasticidade
	Densidade endurecido	NBR 13280	3	Média - densidade endurecido
	Resistência de aderência à tração	NBR 13528	12	Média - resistências

*PI: procedimento interno

(O AUTOR)

3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA ANIDRA

No estado anidro foram determinadas a densidade de massa, a distribuição granulométrica e o índice de forma dos agregados das argamassas. A composição da areia utilizada na argamassa foi determinada pela difração de raio-X. A densidade das argamassas foi determinada através da AMN NM 23 – 2000, o qual ensaio utiliza o frasco de Le Chatelier (Figura 3.4) com líquido não reativo com o cimento. O resultado é utilizado para o cálculo do ar incorporado no estado fresco da argamassa.

Figura 3.4: Frasco de Le Chatelier utilizado no ensaio de densidade.



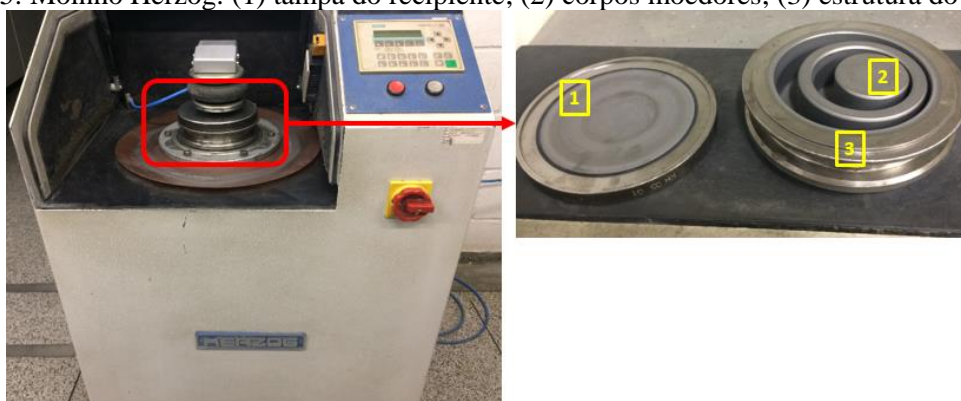
(O AUTOR)

A curva granulométrica da argamassa foi realizada em quatro etapas. A primeira consiste em separar as partículas menores e maiores que 88 microns. Na segunda é realizada a caracterização da distribuição granulométrica das partículas menores de 88 microns através granulometro a laser da marca Malvern, modelo Mastersizer com leitura de diâmetro entre de 0,05 microns e 555 microns. A terceira é a caracterização das partículas acima de 88 microns executada através do equipamento Camsizer XT com leitura de diâmetro entre 10 microns e 300 micros. A quarta etapa é a composição completa da curva granulométrica das argamassas, que consistem em juntar os dados obtidos na etapa dois com os dados da etapa três.

O equipamento Camsizer XT diferente do granulômetro a laser Malvern, executa a leitura através de duas lentes independentes, isso possibilita o cálculo do índice de forma dessas partículas que auxiliarão na compreensão do comportamento do fluxo das argamassas.

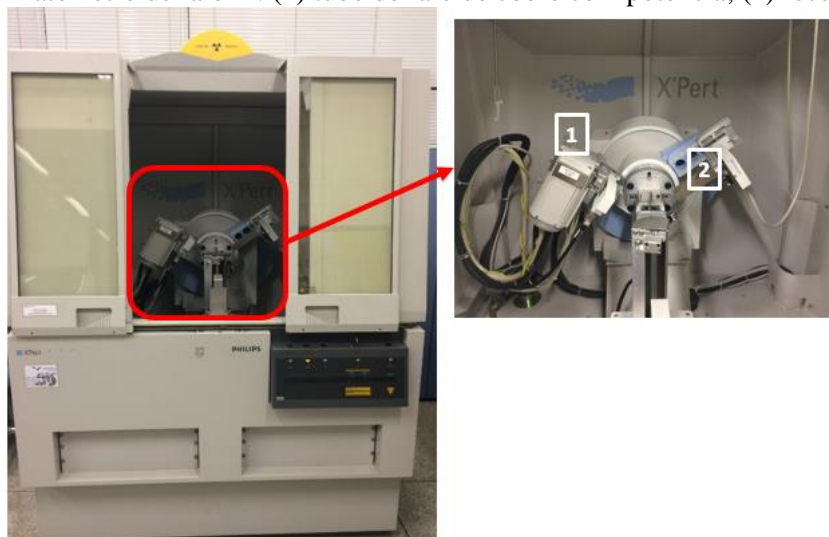
Parte do material retido na peneira 0,088 milímetros foi analisado pela difração de raio-X. Inicialmente as amostras foram moídas cerca de 50 gramas no moinho Herzog (Figura 3.5). Posteriormente, as amostras foram analisadas no difratômetro de raio-X modelo X'Pert da Philips (Figura 3.6). A partir dos ensaios foram gerados picos referentes a cada mineral contido na amostra.

Figura 3.5: Moinho Herzog: (1) tampa do recipiente; (2) corpos moedores; (3) estrutura do recipiente.



(O AUTOR)

Figura 3.6: Difratorômetro de raio-X: (1) tubo de raio de cobre com potência; (2) receptor dos raios.



(O AUTOR)

3.2.VERIFICAÇÃO DO TEOR DE ÁGUA INDICADO PELO FABRICANTE

Conforme prescrito na ABNT NBR 13281-2005, o fabricante de argamassa industrializada deve indicar o teor de água na sacaria do produto. Do total de dez (10) argamassas dois (2) produtos continham o teor fixo, sendo que o restante apresentou abertura de variação da quantidade de água.

Antes de iniciar as misturas das argamassas em grandes quantidades, utilizando o teor de água indicado pelo fabricante, misturou-se cerca de 2,5 kg de argamassa com a finalidade de verificar se o percentual de água indicado pelo fabricante atingiria a trabalhabilidade

determinada subjetivamente pelo pedreiro. Nessa fase do trabalho, não houve como excluir o empirismo, e o pedreiro com mais de 30 anos de experiência em aplicações de revestimento, definiu a trabalhabilidade adicionando água até que o mesmo julgasse ideal para a aplicação. Esse procedimento foi adotado para todas as amostras analisadas e, a quantidade de água definida foi utilizada para moldagens dos corpos de prova e aplicações nos painéis testes. De todas as argamassas verificadas apenas uma não seguiu a indicação de água do fabricante a partir da opinião do pedreiro.

3.3.CARACTERIZAÇÃO EM LABORATÓRIO

Utilizando o teor de água determinado, as argamassas foram analisadas e verificadas quanto à sua classificação conforme ABNT NBR 13281 – 2005. A caracterização em laboratório, utiliza procedimentos já validados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Os resultados extraídos dessa etapa servirão como referência para a etapa de aplicação em painel teste e podem esclarecer alguns comportamentos que as argamassas possam apresentar no painel teste.

A Figura 3.7, apresenta as informações referentes à utilização e classificação das argamassas utilizadas nessa pesquisa, sendo que os dados foram extraídos das sacarias das argamassas. De modo geral, o grande diferencial entre as argamassas está na resistência à compressão, coeficiente de capilaridade e retenção de água. Excluindo a argamassa ARG 9, cuja a classificação de potencial de aderência à tração não foi informada, e a argamassa ARG 5 cuja classificação de coeficiente de capilaridade também não foi informada.

Figura 3.7: Utilização e classificação das argamassas industrializadas para revestimento de paredes. P: classe de resistência à compressão; M: classe de densidade no estado endurecido da argamassa; R: resistência à flexão; C: coeficiente de absorção por capilaridade; D: densidade no estado fresco da argamassa; U: retenção de água da argamassa; A: resistência de aderência à tração.

Código	Classificação NBR 13281/2005						
	MPa	g/cm ³	MPa	g/dm ² .min ^{1/2}	g/cm ³	%	MPa
ARG 1	P5	M4	R3	C4	D4	U2	A3
	5,5 - 9,0	1,4 - 1,8	1,5 - 2,7	3,0 - 7,0	1,6 - 2,0	72 - 85	≥ 0,30
ARG 2	P4	M4	R2	C5	D4	U2	A3
	4,0 - 6,5	1,4 - 1,8	1,0 - 2,0	5,0 - 12,0	1,6 - 2,0	72 - 85	≥ 0,30
ARG 3	P5	M4	R4	C5	D4	U2	A3
	5,5 - 9,0	1,4 - 1,8	2,0 - 3,5	5,0 - 12,0	1,6 - 2,0	72 - 85	≥ 0,30
ARG 4	P4	M4	R3	C4	D4	U2	A3
	4,0 - 6,5	1,4 - 1,8	1,5 - 2,7	3,0 - 7,0	1,6 - 2,0	72 - 85	≥ 0,30
ARG 5	P3	M5	R2	-	D4	U4	A3
	2,5 - 4,5	1,6 - 2,0	1,0 - 2,0	-	1,6 - 2,0	86 - 94	≥ 0,30
ARG 6	P4	M4	R3	C5	D4	U2	A3
	4,0 - 6,5	1,4 - 1,8	1,5 - 2,7	5,0 - 12,0	1,6 - 2,0	72 - 85	≥ 0,30
ARG 7	P5	M4	R3	C4	D4	U2	A3
	5,5 - 9,0	1,4 - 1,8	1,5 - 2,7	3,0 - 7,0	1,6 - 2,0	72 - 85	≥ 0,30
ARG 8	P5	M4	R3	C5	D4	U2	A3
	5,5 - 9,0	1,4 - 1,8	1,5 - 2,7	5,0 - 12,0	1,6 - 2,0	72 - 85	≥ 0,30
ARG 9	P2	M3	R3	C1	D3	U2	-
	1,5 - 3,0	1,2 - 1,6	1,5 - 2,7	≤ 1,5	1,4 - 1,8	72 - 85	-
ARG 10	P3	M4	R3	C1	D3	U4	A3
	2,5 - 4,5	1,4 - 1,8	1,5 - 2,7	≤ 1,5	1,4 - 1,8	86 - 94	≥ 0,30

(O AUTOR)

3.3.1. Procedimento de mistura das argamassas

Para a execução das misturas foi utilizada uma argamassadeira planetária (Figura 3.8), com cuba de aço inoxidável com capacidade de aproximadamente 5 litros e uma pá de metal que gira em torno de si mesma em movimento planetário. A velocidade utilizada apresenta rotação em torno do eixo de 140 ± 5 rpm e movimento planetário de 62 ± 5 rpm.

O procedimento de mistura foi realizado de acordo com a ABNT NBR 13276 - 2005, “Preparo da mistura e determinação do índice de consistência”. Conforme prescrito na norma, para o procedimento de mistura das argamassas industrializadas o fabricante indica a necessidade de tempo adicional para a mistura, na ausência dessa informação o tempo adicional adotado foi de 30 segundos. Além de estabelecer o procedimento de mistura, a norma prescreve

as condições ambientais do laboratório e climatização dos materiais e da aparelhagem que serão utilizados.

A mistura totalizou um período de 60 segundos e seguiu o procedimento descrito abaixo:

- 1) Pesou-se a quantidade de água determinada;
- 2) Adicionou-se a água no recipiente de mistura;
- 3) Pesou-se 2500 gramas de argamassa;
- 4) Adicionou-se a massa de 2500 gramas de argamassa, dentro do período de 30 segundos;
- 5) Acionou-se o misturador em velocidade baixa;
- 6) Misturou-se por 30 segundos;
- 7) Retirou-se a pá de mistura e raspou-se toda a superfície interna do recipiente, em um intervalo de 60 segundos;

Ligou-se o misturador e misturou-se pelo tempo indicado pelo fabricante, na ausência dessa informação, misturou-se por mais 30 segundos.

Figura 3.8: Argamassadeira planetária EMIC.



(O AUTOR)

3.3.2. Avaliações no estado fresco

A avaliação das argamassas no estado fresco teve como objetivo verificar a capacidade de retenção de água, a densidade a fresco, o teor de ar incorporado da argamassa, além da caracterização reológica.

3.3.2.1. Retenção de água da argamassa

A determinação de retenção de água, foi realizada conforme a ABNT NBR 13277 - 2005. A norma estabelece o método para determinação da retenção de água em argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos. O ensaio é realizado em funil de Buchner, o qual é submetido à uma sucção com pressão controlada, durante o período de 15 minutos. A forma de moldagem, o número de golpes, a forma em que se retira a excesso de argamassa são citados e descritos na norma.

Essa análise tem o objetivo de verificar a capacidade da argamassa reter água. A baixa retenção de água pode influenciar em fissuras no estado fresco causadas pela retração plástica.

3.3.2.2. Ensaio de Ar incorporado

A determinação do teor de ar incorporado foi realizada de acordo com a NBR 13278 – 2005. Esta norma estabelece o método para determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado em argamassas no estado fresco. Para o cálculo do teor de ar incorporado (Equação 3-1), há a necessidade da densidade da argamassa no estado fresco, e a massa específica da argamassa determinada pela NBR NM 23 – 2001 (Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica). Apresenta-se abaixo a sequência de cálculo.

$$A = 100 \left(1 - \frac{d}{dt} \right) \quad \text{Equação 3-1}$$

Onde:

d : é o valor da densidade de massa da argamassa, em gramas por centímetro cúbico;

dt : é o valor da densidade de massa teórica da argamassa, em gramas por centímetro cúbico, sem vazios.

Para o cálculo de dt , utiliza-se a Equação.3-2:

$$dt = \frac{m_s + m_{\text{água}}}{\frac{m_s}{\gamma_s} + m_{\text{água}}} \quad \text{Equação.3-2}$$

Onde:

m_s : é a massa da argamassa anidra, em gramas;

$m_{\text{água}}$: é a massa de água que compõe a argamassa fresca;

γ_s : é a massa específica da argamassa anidra, determinada conforme a ABNT NBR NM

23.

3.3.2.3. Caracterização reológica das argamassas pelo método Squeeze-flow

A caracterização reológica da argamassa, foi mensurado através da técnica conhecida como Squeeze-flow. A ABNT NBR 15839 - 2010, prescreve o método de ensaio para determinação do comportamento reológico de argamassas de assentamento e revestimento no estado fresco. Nesta caracterização o procedimento de mistura é realizado conforme prescrito na ABN NBR 13276 - 2005.

O ensaio foi realizado em uma prensa da marca Instron. O método consiste em comprimir a amostra cilíndrica entre duas placas metálica paralelas. A velocidade de carregamento adotada para essa determinação, foi de 0,01 mm/s com o tempo de repouso da mistura de 15 minutos. Os corpos de prova com diâmetro de 101 mm e altura de 10 mm foram moldados sobre placa metálica não absorvente. O punção móvel possui diâmetro de 101 mm. A aplicação de baixa taxa de carregamento fornece uma adequada avaliação reológica da argamassa, possibilitando extrair informações como a tensão de escoamento do material, a separação de fases da argamassa e se a mistura está homogênea. Para cada amostra foram realizadas 3 determinações, a análise das curvas foi executada graficamente e a que mais se distanciasse das outras duas curvas era descartada.

3.3.2.4. Caracterização reológica das argamassas por reometria rotacional

Através do reômetro rotacional para argamassas e concretos, é possível verificar o comportamento do fluido e caracterizar o comportamento da argamassa. Inicialmente executa-se a mistura, e logo após a mistura (tempo rotação rpm) a argamassa é submetida a ciclos

(rpm/s) de aceleração e desaceleração. A partir da análise do ciclo, verifica-se a homogeneidade da mistura e se a argamassa apresenta característica pseudoplástica ou dilatante. Na Figura 3.9 apresenta-se o reômetro e seus componentes.

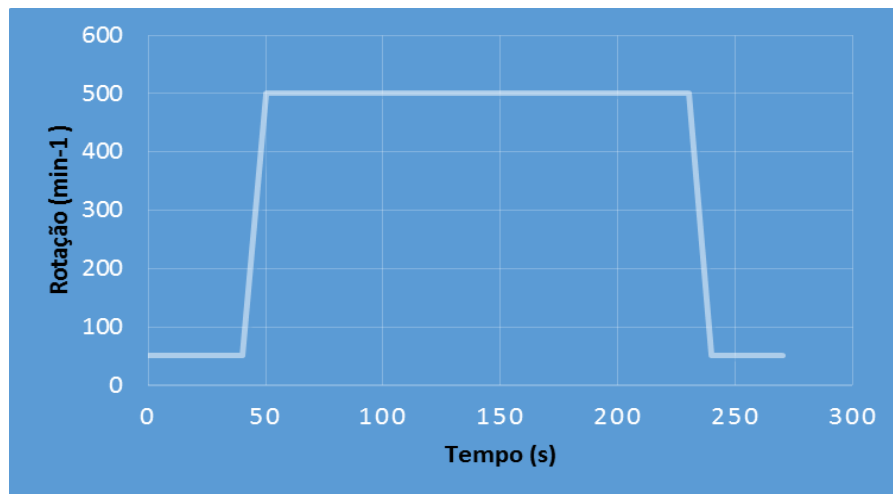
O procedimento adotado para a realização dessa análise foi a água no pó, pois de acordo com a literatura esse procedimento é mais eficiente para esse tipo de equipamento. Inicialmente pesa-se 4 kg de argamassa anidra, insere-se na cuba metálica a porção de argamassa e aciona-se o equipamento. Após o acionamento, a raquete de mistura do equipamento desce com velocidade de 50 rpm posicionando-se à 2,0 mm do fundo da cuba. A partir desse ponto, a rotação aumenta para 500 rpm e inicia-se a adição de água. A água foi adicionada com o auxílio de um funil com vazão de aproximadamente 15 g/s. Para a adição da água há um período de 60 segundos, e após esse tempo inicial mistura-se a argamassa durante 180 segundos com rotação constante de 500 rpm. Utilizando valores representativos foi montada uma programação de esforços rotacionais na mistura impostos pela raquete em torno do seu próprio eixo, conforme demonstrado na Figura 3.10.

Figura 3.9: Reômetro para argamassas, componentes: 1) torre superior; 2) dispositivo rotacional; 3) base de reação e console; 4) recipiente de ensaio; 5) elevador; 6) raquete de mistura, composta por haletas radiais montadas em espiral.



(O AUTOR)

Figura 3.10: Programação de esforços rotacionais na mistura.

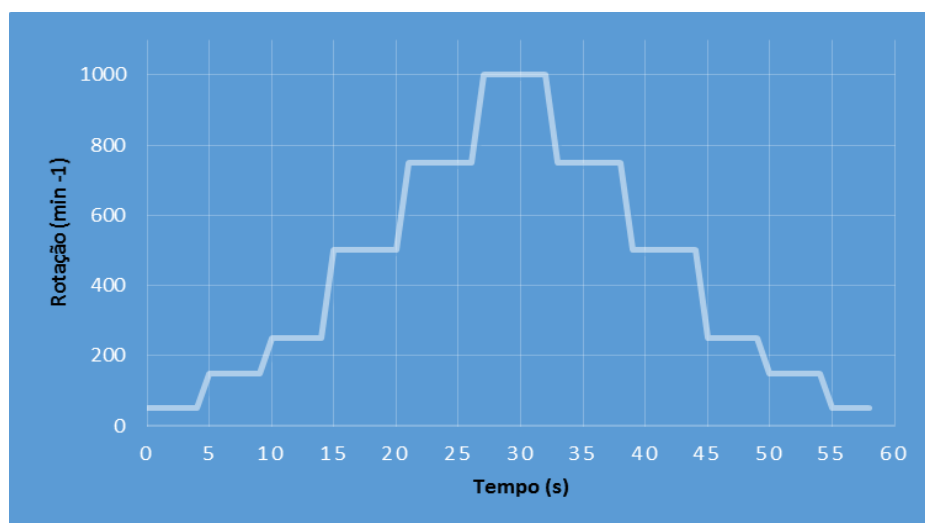


(O AUTOR)

O sistema planetário do reômetro impõe ao sistema dois movimentos distintos: rotação imposto pela raquete em torno de seu próprio eixo, medida em rotações por minuto (rpm), e translação em torno do eixo central. Nesse sentido, a velocidade refere-se à rotação da raquete em torno de seu próprio eixo.

O procedimento referente aos ciclos de cisalhamento aplicados nas misturas de argamassa trata-se de velocidades de rotação da geometria de ensaio em torno de seu próprio eixo em patamares de 5 segundos, primeiro acelerando e depois desacelerando. A Figura 3.11 apresenta de forma esquemática os patamares de aceleração e desaceleração.

Figura 3.11: Representação do ciclo de cisalhamento, aceleração e desaceleração.



(O AUTOR)

3.3.3. Avaliações no estado endurecido

A resistência mecânica de produtos cimentícios sofre influência da relação água / cimento. Conforme avançaram as análises das argamassas, verificou-se que nove das onze argamassas analisadas no experimento apresentaram acréscimo de água a partir dos ajustes indicados pelo pedreiro, após a mistura inicial. As avaliações no estado endurecido têm como finalidade verificar o impacto do acréscimo de água no desempenho no estado endurecido, em função de um maior tempo de utilização da argamassa.

3.3.3.1. Ensaio de Resistência à tração na flexão e à compressão

Para a determinação de resistência à tração na flexão e à compressão utilizou-se como base a ABNT NBR 13279 – 2005. As formas utilizadas são prismáticas com dimensões de 4cm x 4cm x 16cm, a partir de uma forma são confeccionados 3 corpos de prova.

Após a moldagem aos corpos de prova ficaram em ambiente controlado, com temperatura entre 21°C e 25°C, e umidade relativa do ar entre 55% e 65%. Os corpos de prova foram retirados da forma prismática, após 48 horas e acondicionados em prateleiras até a data das análises.

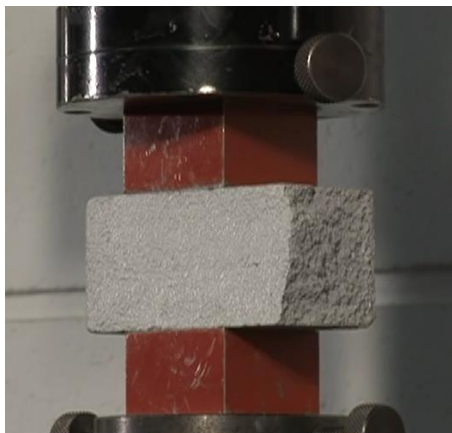
Alcançados os 28 dias contados a partir da data de moldagem os corpos de prova (CP) são submetidos inicialmente ao ensaio de resistência à flexão (Figura 3.12), à carga constante de 50N/s. O ensaio de resistência à flexão concentra a carga no centro do CP, e após a aplicação da carga adquiriu-se duas partes. A partir das duas partes adquiridas do ensaio à flexão adquiriu-se 6 CP's para o ensaio à compressão. A determinação de resistência à compressão (Figura 3.13) foi realizada com uma taxa de carregamento de 500 N/s.

Figura 3.12: Posicionamento do corpo de prova prismático para o ensaio de resistência à flexão.



(O AUTOR)

Figura 3.13: Ensaio de ruptura à compressão da fração do corpo de prova prismático submetido ao ensaio de resistência à flexão.



(O AUTOR)

3.3.3.2.Densidade no estado endurecido

O resultado de densidade no estado endurecido da argamassa é utilizado para compor o cálculo que determina o módulo de elasticidade das argamassas. O ensaio foi realizado conforme ABNT NBR 13280 - 2005 que estabelece o método para a determinação da densidade de massa aparente de argamassa no estado endurecido. Para essa determinação utiliza-se um paquímetro para mensurar as dimensões e calcular o volume do corpo-de-prova (Figura 3.14). Após mensurar o volume, com o auxílio de uma balança determina-se a massa de cada corpo-de-prova. O resultado é obtido através da divisão da massa sobre o volume do corpo-de-prova.

Figura 3.14: Medição dos corpos de prova para a determinação da densidade no estado endurecido.

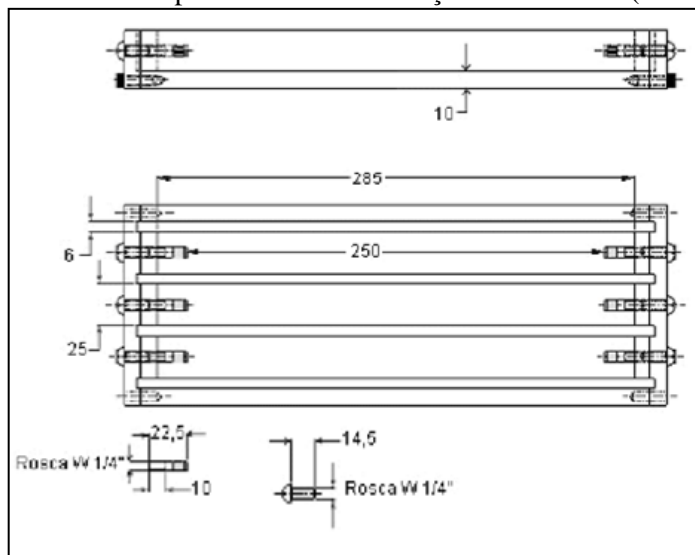


(O AUTOR)

3.3.3.3. Retração ou expansão linear das argamassas

Para determinar a retração ou expansão linear das argamassas, utilizou-se a ABNT NBR 15261 - 2005, Determinação da variação dimensional. A norma tem como objetivo estabelecer o método para determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear) das argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos na fase de endurecimento e secagem. Os corpos de prova para esse ensaio são prismáticos e muito esbeltos e são moldados em formas conforme a Figura 3.15. A desforma é realizada após 48 horas, as leituras são realizadas após 24 horas, 7 dias e 28 dias. Sistemas com maiores teores de água tendem a apresentar maiores perdas de água e consequentemente maiores retrações, ocasionando patologias como fissuras.

Figura 3.15: Dimensão dos moldes para o ensaio de variação dimensional (dimensões em milímetros).



(ABNT NBR 15261 – 2005)

3.3.3.4. Módulo de elasticidade dinâmico

O ensaio de módulo de elasticidade foi realizado após 28 dias de cura, conforme preconizado pela ABNT NBR 15630 - 2008. A norma tem como escopo prescrever o método de ensaio não destrutivo para determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de ondas longitudinais, obtidas por pulsos ultrassônicos (Figura 3.16). Os corpos de prova com dimensões 4x4x16 cm são submetidos à propagação de ondas de modo que possibilita extrair resultados do módulo de elasticidade da argamassa.

Figura 3.16: Equipamento de ultrassom para ensaio de módulo de elasticidade.



(O AUTOR)

3.4.APLICAÇÃO EM CAMPO – AMBIENTE EXTERNO

Para as aplicações em campo, a mistura da argamassa foi realizada mecanicamente em um misturador UEZ 73730 da Toni Technik (Figura 3.17), com capacidade de 200 kg, esse tipo de equipamento não é o padrão utilizado nas obras, encontra-se na região nordeste alguns equipamentos de mistura similares ao utilizado no trabalho, contudo nas regiões sul e sudeste não foram encontrados equipamentos similares. Foram misturados 160 kg durante dois minutos. A sequência de material adicionado na mistura foi a seguinte: 1º) metade do material particulado; 2º) metade da água; 3º) o restante do material; 4º) e, por último, a água remanescente, este procedimento foi adotado para todas as amostras.

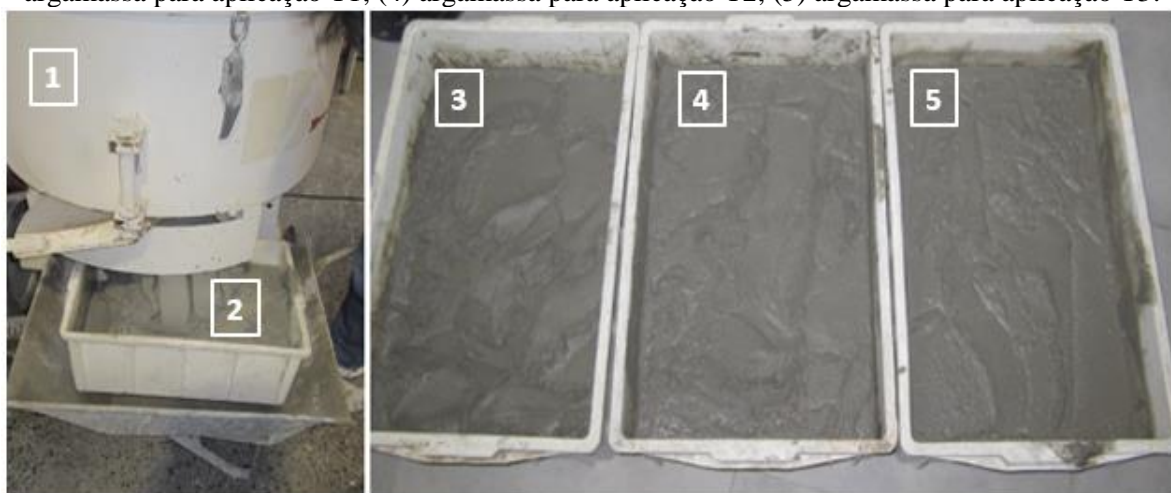
O material foi retirado do misturador e distribuído em porções semelhantes em 4 caixas plásticas contendo aproximadamente 40 kg de argamassa (Figura 3.18). Cada amostra possui quantidade suficiente para a aplicação de um painel em área externa. Como não havia condições de controlar a temperatura, umidade e incidência do vento na área externa e, sabendo-se que essas condições influenciam na perda de água e consequentemente no comportamento reológico da argamassa. As caixas foram levadas para um local climatizado com temperatura ($23 \pm 2^\circ\text{C}$) e umidade ($60 \pm 5\%$), identificadas como T0 (tempo zero hora), T1 (tempo de uma hora), T2 (tempo de duas horas) e T3 (tempo de três horas).

Figura 3.17: Misturador: UEZ 73730, Toni Technik.



(O AUTOR)

Figura 3.18: Argamassa após a mistura inicial: (1) misturador; (2) argamassa para aplicação T0; (3) argamassa para aplicação T1; (4) argamassa para aplicação T2; (5) argamassa para aplicação T3.



(O AUTOR)

3.4.1. Avaliações no estado fresco das argamassas aplicadas em campo

Logo após a mistura inicial, foi retirado da amostra T0 uma porção de argamassa para análise em laboratório sendo que, o restante foi aplicado em paredes de blocos cerâmicos, revestidas com chapiscos com traço em volume 1:3 (25% de aglomerante e 75% de areia).

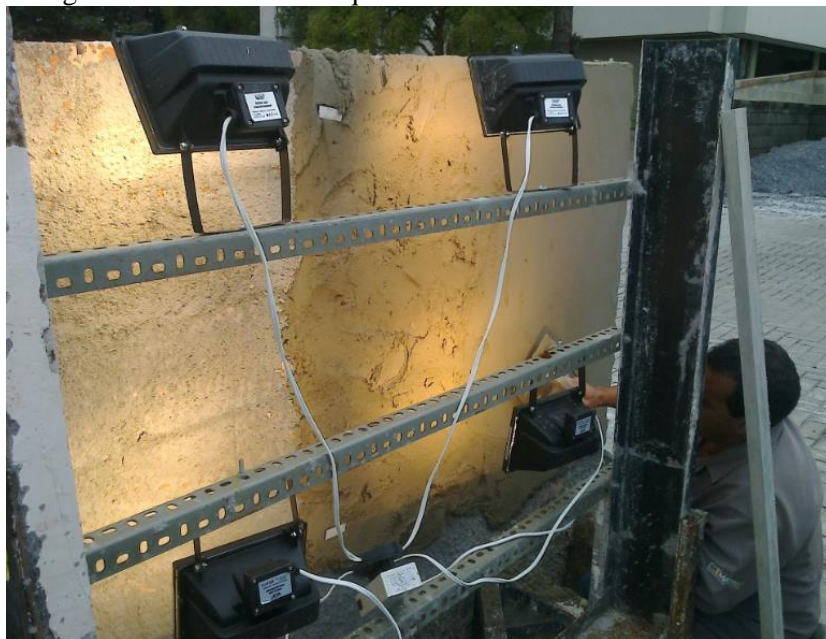
A utilização do chapisco além da ponte de aderência entre o substrato e a argamassa tem como finalidade homogeneizar a superfície dos blocos cerâmicos, que podem apresentar diferenças de absorção devido a vitrificação que é consequência da temperatura de queima.

Conforme descrito nas sacarias de alguns produtos a temperatura do substrato onde será aplicada a argamassa não pode ser superior à 30 °C.

A norma ABNT NBR 13749 – 2013, cujo o escopo é fixar as condições exigíveis para o recebimento de revestimento de argamassas inorgânicas aplicadas sobre paredes e tetos de edificações, prescreve as espessuras mínimas e máximas do revestimento de paredes externas interna e tetos. Para áreas externas a norma estabelece que o revestimento deve apresentar espessuras entre 2 cm e 3 cm. Dessa forma os painéis foram aplicados com espessura média de 2,5 cm.

Com a finalidade de aproximar-se das condições de obra, as paredes foram aquecidas com auxílio de refletores incandescentes, a temperatura superficial do substrato aproximou-se de 45 °C (Figura 3.19). Para a aplicação da argamassa afastou-se o refletor, e após o término da aplicação posicionou-se os refletores na posição de origem com a finalidade de simular a radiação solar sobre a argamassa. Esse procedimento foi realizado para as aplicações seguintes.

Figura 3.19: Paineis teste aquecido com refletores incandescentes.



(O AUTOR)

3.4.1.1.Determinação da perda de água por evaporação

A partir da mistura inicial foram moldados 3 corpos de prova (Figura 3.20 A) para mensurar a perda de umidade da argamassa ao longo do tempo. Os corpos de prova foram

moldados sobre substrato não absorventes, os moldes também sem absorção possuem altura de 20 mm com diâmetro 101 mm. Desse modo, o único local que a argamassa poderia perder água por evaporação era a superfície exposta à atmosfera. A área pela qual a argamassa poderá perder água por evaporação apresenta aproximadamente 8 mil mm², sendo que a moldagem foi realizada com base na ABNT NBR 15839 – 2010. A leitura de perda de massa (Figura 3.20 B) foi realizada em balança semi-analítica com resolução de 3 casas decimais durante o período de 3 horas.

Para as argamassas utilizadas para as aplicações em campo, a perda de umidade foi relativa à área superficial das caixas. As caixas possuíam dimensões de 35 cm de largura por 75 cm de comprimento, com área aproximada de 2625 cm². Dessa forma os resultados obtidos nas leituras foram convertidos para essa área.

Figura 3.20: A: Moldagem dos corpos de prova para o ensaio de perda de umidade; B: Pesagem dos corpos de prova com periodicidade de 1 hora.



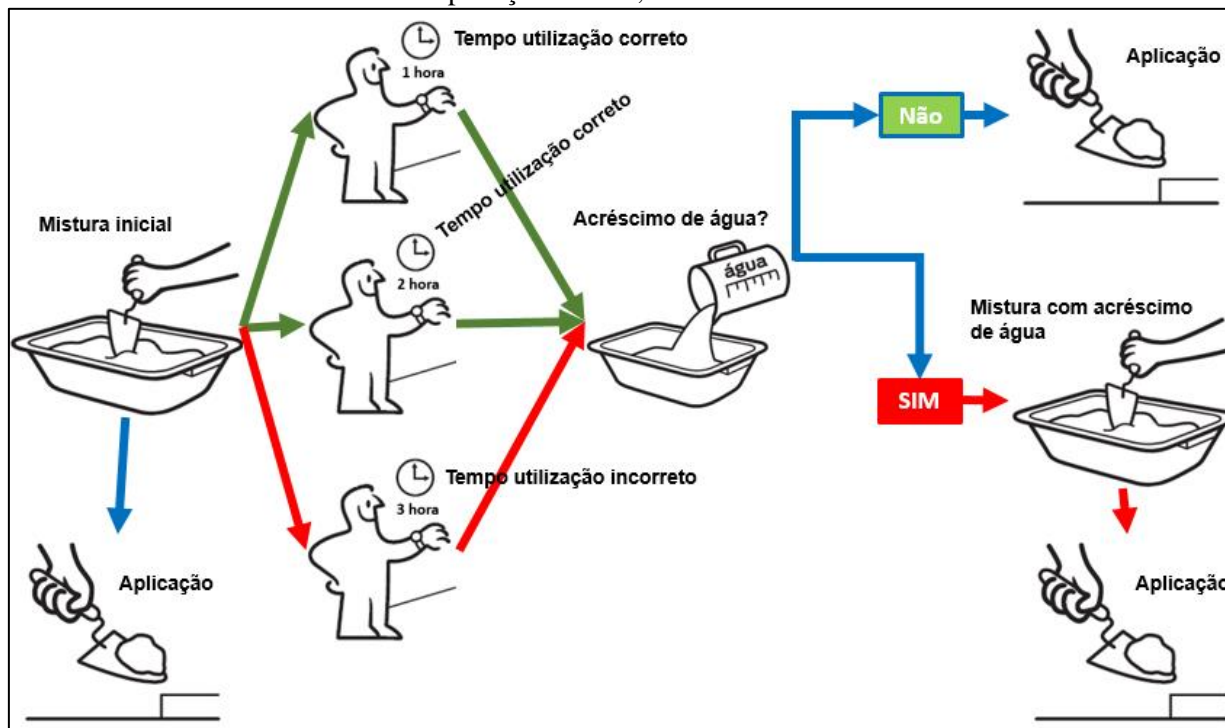
(O AUTOR)

3.4.2. Verificação da trabalhabilidade

Para as aplicações T1, T2 e T3, verificava-se a perda de trabalhabilidade da argamassa através no ensaio de squeeze-flow e comparava-se com a percepção do pedreiro (Figura 3.19). Nesta etapa prevaleceu o empirismo e, caso o pedreiro achasse desnecessária a adição de água, separava-se uma porção de argamassa para realizar a caracterização em laboratório. Caso houvesse o acréscimo de água por parte do pedreiro, mensurava-se a quantidade de água e realizava-se um novo ensaio squeeze-flow para comparar os resultados antes e depois da adição de água, paralelamente executavam-se as análises de densidade fresca da argamassa, e efetuava-se as moldagens para os ensaios no estado endurecido. Ainda assim, a ideia foi avaliar o quanto

o aplicador julgava ser necessário acrescentar água a fim de que a argamassa obtivesse a trabalhabilidade inicial.

Figura 3.21: Linha do tempo da argamassa, após a mistura inicial as amostras foram separadas para aplicações com 1, 2 e 3 horas.



(O AUTOR)

3.4.3. Reometria rotacional

Para a reometria rotacional foi estabelecida a quantidade mínima de 4 kg de material para a realização do ensaio. A argamassa foi submetida ao ensaio de ciclo de aceleração e de desaceleração seguindo a Figura 3.11.

O procedimento referente aos ciclos de cisalhamento consistiu em impor ao material diferentes velocidades de rotação da geometria de ensaio em torno de seu próprio eixo (50 a 1000 rpm) em patamares de 5 segundos, primeiro acelerando e depois desacelerando. A reometria rotacional possibilita verificar o comportamento reológico do fluido, estado de homogeneização da amostra, a tensão de cisalhamento que é correlacionada com a viscosidade da argamassa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A leitura das sacarias dos produtos informa pontos importantes sobre a utilização, classificação, teor de água, limites de utilização e composição da argamassa. Fatores como morfologia dos agregados, curva granulométrica e reologia exercem influência no comportamento reológico das argamassas, da mesma forma a parte que compõem a pasta da argamassa também exerce influência. A avaliação das características físicas das argamassas é importante para a análise e pode auxiliar na compreensão do comportamento reológico da argamassa.

4.1. Informações da sacaria

As sacarias dos produtos contêm informações sobre a utilização do produto, classificação conforme ABNT NBR 13281, constituintes da argamassa, teor de água a ser utilizado para a mistura, informações de utilização, temperatura da água, condições do substrato e necessidade de cura. Conforme a ABNT NBR 13281, o fabricante deve informar a classificação completa da argamassa, com isso esperava-se encontrar todas essas indicações solicitadas pela norma, no entanto a ARG9 não apresentou indicação quanto à classificação do potencial de aderência da argamassa.

A Figura 4.1 contêm as informações extraídas da sacaria. Verifica-se que cinco das dez argamassas utilizam cal. Todas as argamassas indicam o tempo máximo utilização de 2 horas após a mistura com a água. Além dessa indicação, alguns produtores indicam cuidados como a temperatura da parede, absorção do bloco, temperatura da água, misturadores indicados, forma de aplicação, espessura do revestimento e acabamento.

A ABNT NBR 13281 – 2005, classifica as argamassas em vários quesitos, e ao analisar cada quesito verifica-se que alguns parâmetros possuem variação. A classe P, por exemplo, indica a resistência a compressão da argamassa, e de acordo com as informações extraídas das sacarias há argamassas classificadas entre P2 e P5, indicando que para a mesma utilização encontram-se resistências à compressão entre 1,5 MPa e 9,0 MPa. O coeficiente de capilaridade (C), também apresenta variação, há argamassas classificadas como C1 e C5, ou seja o coeficiente de capilaridade menor $1,5 \text{ g/dm}^3 \cdot \text{min}^{1/2}$ e $12 \text{ g/dm}^3 \cdot \text{min}^{1/2}$. Outra classificação que apresenta variação expressiva é a classificação de retenção de água, a classe inferior, U2, que indica uma faixa de variação entre 72 % e 85%, e a classe U4 que indica uma faixa de 86% a 94%. A densidade no estado fresco da argamassa é indicada pela letra D, as argamassas são classificadas

em duas classes, D3 que classifica argamassas com densidades entre 1400 kg/m³ e 1800 kg/m³, e D4 com valores de 1600 kg/m³ a 2000 kg/m³. A letra M indica a classificação de densidade no estado endurecido, e há argamassas classificadas entre M3 a M5 com valores mínimos de 1200 kg/m³ e máximo de 2000 kg/m³. Para a resistência a flexão as argamassas estão classificadas entre R2 a R4, apontando resistências entre 1,0 MPa e 3,5 MPa. O ensaio de resistência potencial de aderência à tração é indicado pela letra A, a ARG 9 não apresentou classificação, os restantes das argamassas são classificadas como A3 indicando resistências igual ou superior à 0,30 MPa.

Figura 4.1: Informações obtidas das sacarias das argamassas.

Código	Utiliza cal?	Tempo máximo de utilização	Teor de água de amassamento	Classificação segundo a NBR 13281						
				P5	M4	R3	C4	D4	U2	A3
ARG 1	Não	2 horas	15% - 16%	P5	M4	R3	C4	D4	U2	A3
ARG 2	Não	2 horas	16,2% - 17,2%	P4	M4	R2	C5	D4	U2	A3
ARG 3	Não	2 horas	15% - 16%	P5	M4	R4	C5	D4	U2	A3
ARG 4	Não	2 horas	15% - 16%	P4	M4	R3	C4	D4	U2	A3
ARG 5	Sim	2 horas	14% - 15%	P3	M5	R2	² si	D4	U4	A3
ARG 6	Sim	2 horas	13,6% - 14,4%	P4	M4	R3	C5	D4	U2	A3
ARG 7	Sim	2 horas	13,2% - 14,4%	P5	M4	R3	C4	D4	U2	A3
ARG 8	Não	2 horas	15,4% - 16,4%	P5	M4	R3	C5	D4	U2	A3
ARG 9	Sim	2 horas	19,6% - 20%	P2	M3	R3	C1	D3	U2	² si
ARG 10	Sim	2 horas	16% - 18%	P3	M4	R3	C1	D3	U4	A3
Mínimo	¹ na	2 horas	13,2%	P2	M3	R2	C1	D3	U2	A3
Máximo	¹ na	2 horas	20%	P5	M5	R4	C5	D4	U4	A3

¹na: não se aplica / ²si: sem informação

(O AUTOR)

4.2. Teores de água das argamassas

Com o objetivo de evitar grandes perdas de material, todas as informações referentes à quantidade de água foram verificadas. Na Figura 4.2 constam os teores em percentuais de água indicados pelo fabricante, os teores em percentual de água determinado pelo pedreiro, e a quantidade de água em mililitro por quilograma (ml/kg) de argamassa anidra. Por causa da regionalidade havia a suposição de que os teores indicados pelos fabricantes seriam diferentes do solicitado pelo pedreiro. Contudo, verificou-se que, das dez argamassas analisadas, apenas uma não respeitou a faixa de água indicada pelo fabricante, após a análise do pedreiro quanto à trabalhabilidade. Na argamassa ARG 9 utilizou-se menos água que o indicado.

Figura 4.2: Teores de água conforme indicação da sacaria, e teores de água utilizados para a execução dos ensaios. Para a ARG 9, utilizou-se menos água que o indicado.

Código	Teor de água indicado pelo fabricante (%)	Teor de água definido pelo pedreiro (%)	Quantidade de água em massa (ml/kg)
ARG 1	15 – 16	15,5	155
ARG 2	16,2 - 17,2	16,6	166
ARG 3	15 – 16	16,0	160
ARG 4	15 – 16	15,5	155
ARG 5	14 – 15	14,0	140
ARG 6	13,6 – 14,4	13,6	136
ARG 7	13,2 – 14,4	14,0	140
ARG 8	15,4 – 16,4	16,0	160
ARG 9	19,6 – 20	18,0	180
ARG 10	16 – 18	16,5	165
Mínimo	13,2	13,6	136
Máximo	20	18	180
Média	15,3 – 16,3	16,3	163

(O AUTOR)

A ARG 9, ao ser misturada com a quantidade mínima de 19,6% de água, cuja a informação foi extraída da sacaria do produto, não apresentou coesão, plasticidade e consistência de uma argamassa de revestimento. As características observadas da argamassa foram de uma argamassa muito fluida, com baixa tensão de escoamento quando comparada à uma argamassa de revestimento tradicional. Os aspectos observados foram similares à uma argamassa de chapisco, sendo que essa característica impossibilita a utilização dessa argamassa para a regularização. A tentativa de aplicação em espessuras superiores à 3 mm resultou em queda da argamassa por escorregamento, indicando viscosidade insuficiente para suportar o peso próprio em espessuras acima de 3 milímetros. Para a argamassa ARG 9, houve a necessidade de reduzir o percentual de água para 18%, implicando positivamente o comportamento reológico da argamassa melhorando a coesão, plasticidade e consistência.

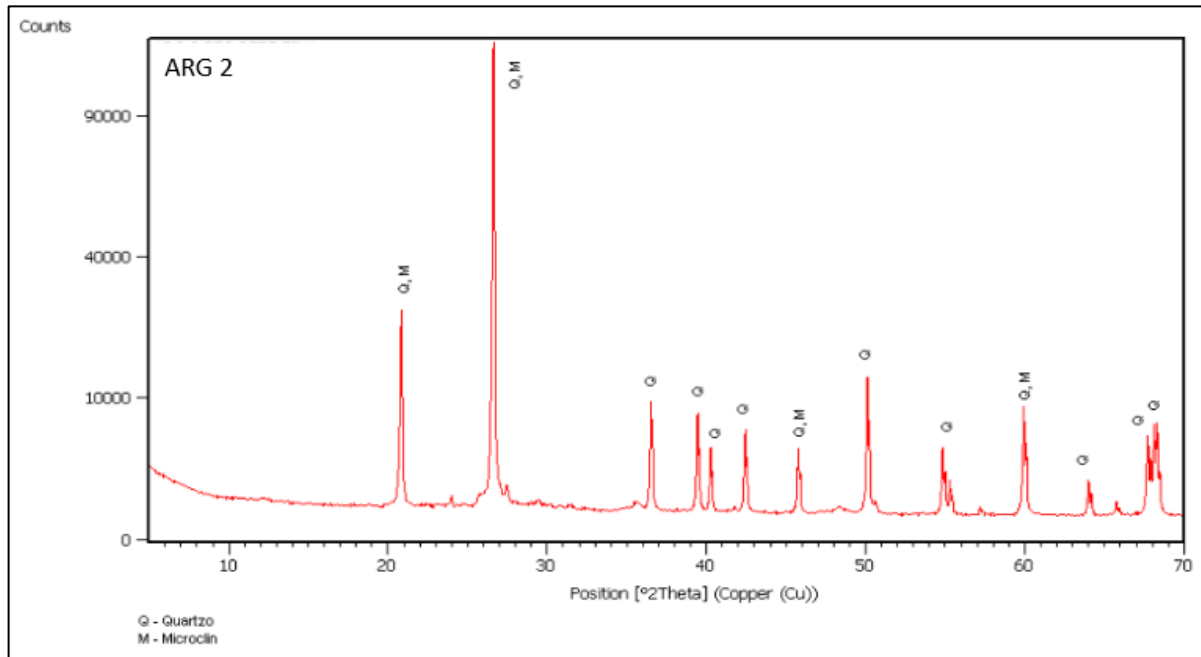
4.3.Caracterização mineral das argamassas no estado anidro

A análise visual das areias retidas na peneira com abertura de 0,088 milímetros indicava que as argamassas poderiam ser compostas com areia natural de quartzo, areia artificial calcária, ou composta por ambas. Através da análise de difração de raio-X, foram identificadas as fases

[illegible]

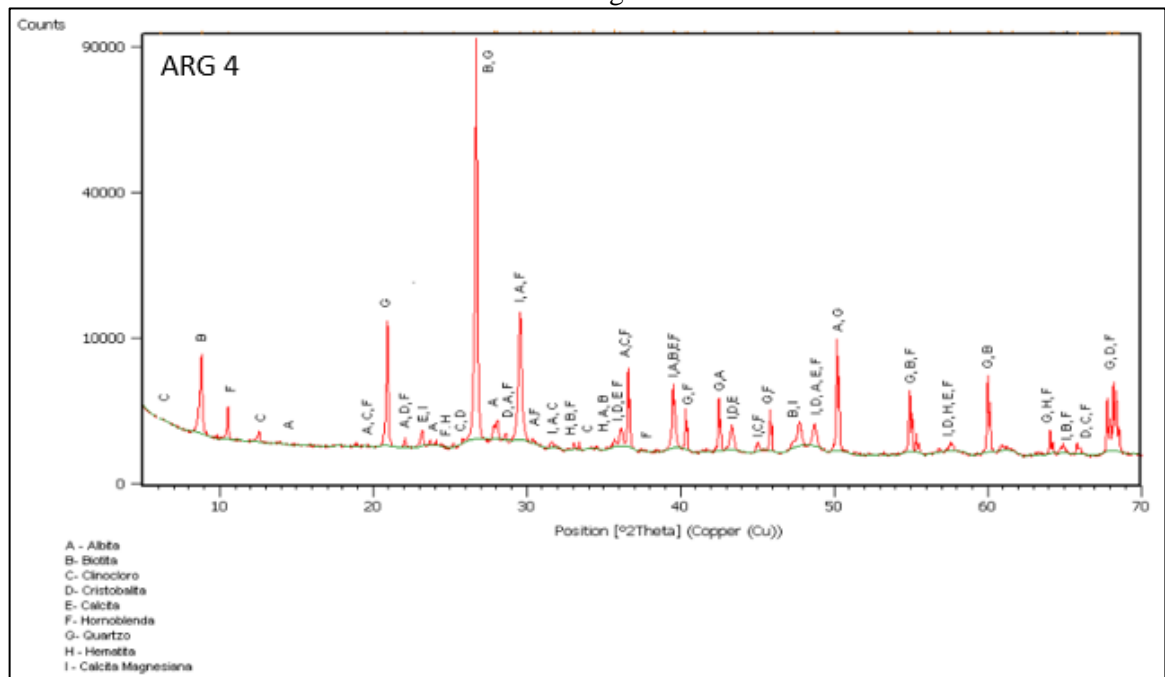
(O AUTOR)

Figura 4.4: Difração de raio – X, ARG 2. Argamassa composta por agregado de quartzo. Q: quartzo. M: microclin.



(O AUTOR)

Figura 4.5: Difração de raio – X, ARG 4. Argamassa composta por agregados calcário e quartzo. A: Albita; B: Biotita; C: Cinicloro; D: Cristobalita; E: Calcita; F: Homoblenda; G: Quartzo; H: Hematita; I: Calcita Magnesia.



(O AUTOR)

4.4. Caracterização física das argamassas no estado anidro

Na Figura 4.6 constam os teores de finos, agregados, densidade real das argamassas, e o arredondamento relativo do agregado. Os valores, máximo, mínimo e médio para cada característica também são demonstrados. O teor de finos foi mensurado através de peneiramento aerodinâmico cuja abertura da peneira é de 0,088 milímetros. O material passante considerado como material finos é composto por cimento, cal, partículas de areia, adições e aditivos, enquanto que o material retido é considerado como agregado, ou seja, apenas partículas de areia. É importante salientar que nessa fração pode haver parcelas pequenas de aglomerante, adições e aditivos.

As argamassas estudadas apresentam teores de finos na faixa de 16,58 % e 35,85% e de agregados entre 64,15% e 75,82%, representando produtos com diferenças significativas nesses teores. A massa específica da argamassa apresenta variações entre 2,64 g/cm³ e 2,80 g/cm³, sendo que essa variação é influenciada pela proporção entre agregados, finos e principalmente pela origem do agregado. O arredondamento relativo está entre 0,70 e 0,76. Os maiores índices de arredondamento são obtidos nas argamassas com areias naturais, contudo há argamassas com agregados artificiais que se igualam a algumas argamassas com areia natural.

Figura 4.6: Características físicas das argamassas. Finos: teor de partículas finas passante na peneira 0,088 milímetros; Agreg: teor de partículas retidas na peneira 0,088 milímetros; ρ Arg: massa específica da argamassa em g/cm³; A.R.: arredondamento relativo das partículas retidas na peneira 0,088 milímetros.

Código	Finos %	Agreg %	ρ Arg g / cm ³	A.R.
ARG 1	30,96	69,04	2,79	0,71
ARG 2	28,72	71,28	2,69	0,73
ARG 3	35,85	64,15	2,80	0,70
ARG 4	24,75	75,25	2,73	0,70
ARG 5	20,15	79,85	2,68	0,76
ARG 6	18,55	81,45	2,67	0,74
ARG 7	20,73	79,27	2,64	0,71
ARG 8	28,14	71,86	2,74	0,70
ARG 9	20,75	79,25	2,69	0,71
ARG 10	20,75	79,25	2,67	0,72

(O AUTOR)

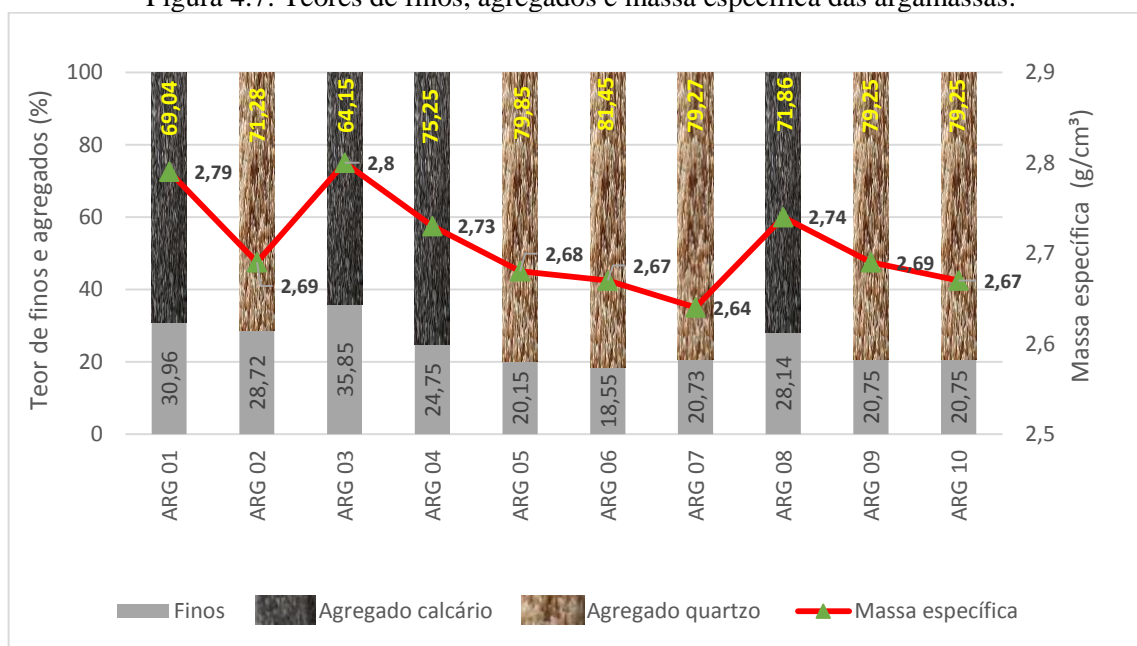
A partir da caracterização da mineralogia das argamassas analisada no item anterior, verificou-se que quatro argamassas apresentam areia artificial de origem calcária. Por causa da

fragmentação forçada do calcário essas areias tendem a apresentar menor grau de esfericidade, e conseqüentemente necessitam de maior teor de finos para que se obtenha um comportamento reológico adequado para a aplicação.

Os resultados dispostos na Figura 4.7, apresentam o comparativo entre as argamassas compostas com areia natural e artificial. Com base nos resultados, verifica-se que há uma tendência de maiores teores de finos para as argamassas com agregados artificiais, e conseqüentemente menor percentual de agregados. Por outro lado, verifica-se que as argamassas que contém cal em sua composição apresentam menores teores de finos. Outra curiosidade, é de que as argamassas compostas por agregados artificiais não possuem cal em sua composição, enquanto que, das seis argamassas com areia natural, apenas 1 não possui cal, de modo que essa argamassa apresenta teores de finos superior ou igual às argamassas compostas com areia artificial. Provavelmente as argamassas que não possuem cal em sua composição, recebem adições como filitos ou fíler calcário, o que por sua vez, tem a função de compor a curva granulométrica e, somados aos aditivos químicos procuram adicionar a argamassa as características similares à cal, outro ponto importante que deve ser ressaltado é de que agregados artificiais podem apresentar altos teores de finos influenciando dessa forma a curva granulométrica da argamassa.

Além dos teores de finos e agregados, a Figura 4.7 traz também os resultados da massa específica das argamassas. A massa específica das argamassas analisadas sofre influência do tipo e teor de agregado utilizado, visto que esses constituintes apresentam teores entre 69,0% e 83,4% e são de naturezas distintas. A partir dos resultados verifica-se que as argamassas compostas pelos agregados artificiais apresentam maiores densidades. Esse fato deve-se à natureza do material. Agregados calcários, apresentam massa específica aproximadamente de 2,73 g/cm³, enquanto que areias de quartzo tem densidades próximos de 2,62 g/cm³.

Figura 4.7: Teores de finos, agregados e massa específica das argamassas.

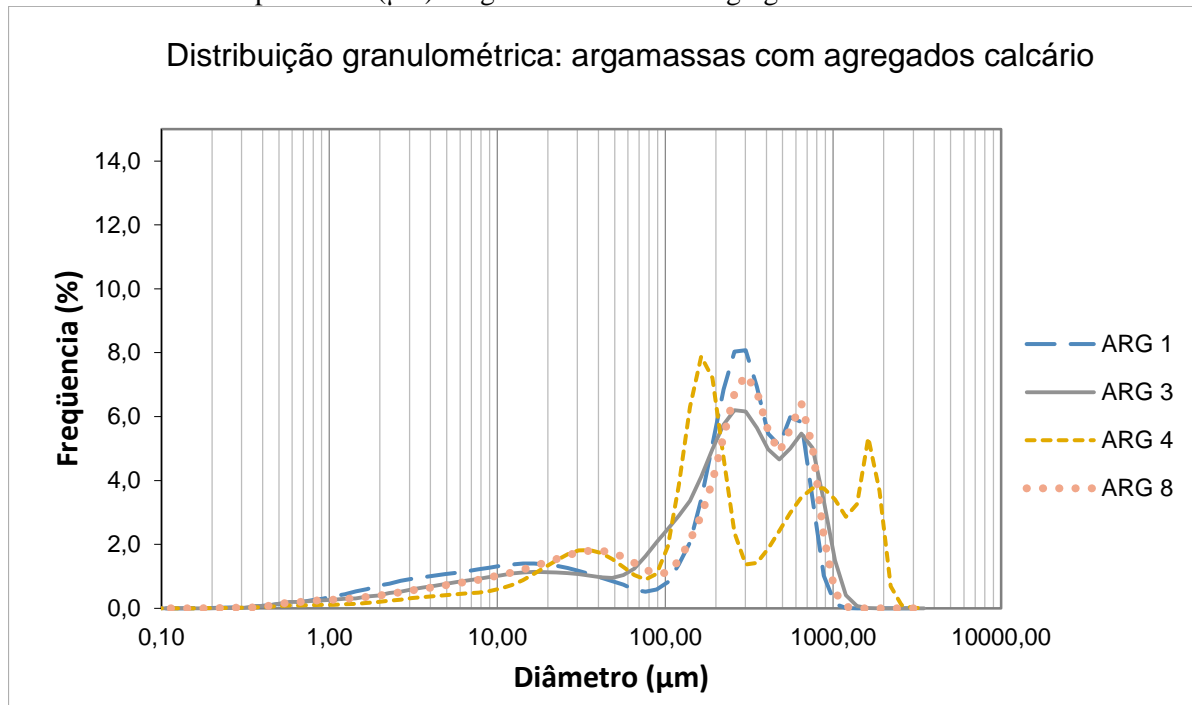


(O AUTOR)

As distribuições granulométricas discretas das argamassas são visualizadas na Figura 4.8, que contém as argamassas compostas por agregados calcários, e Figura 4.9, que apresenta a distribuição granulométrica das argamassas compostas por areia de quartzo.

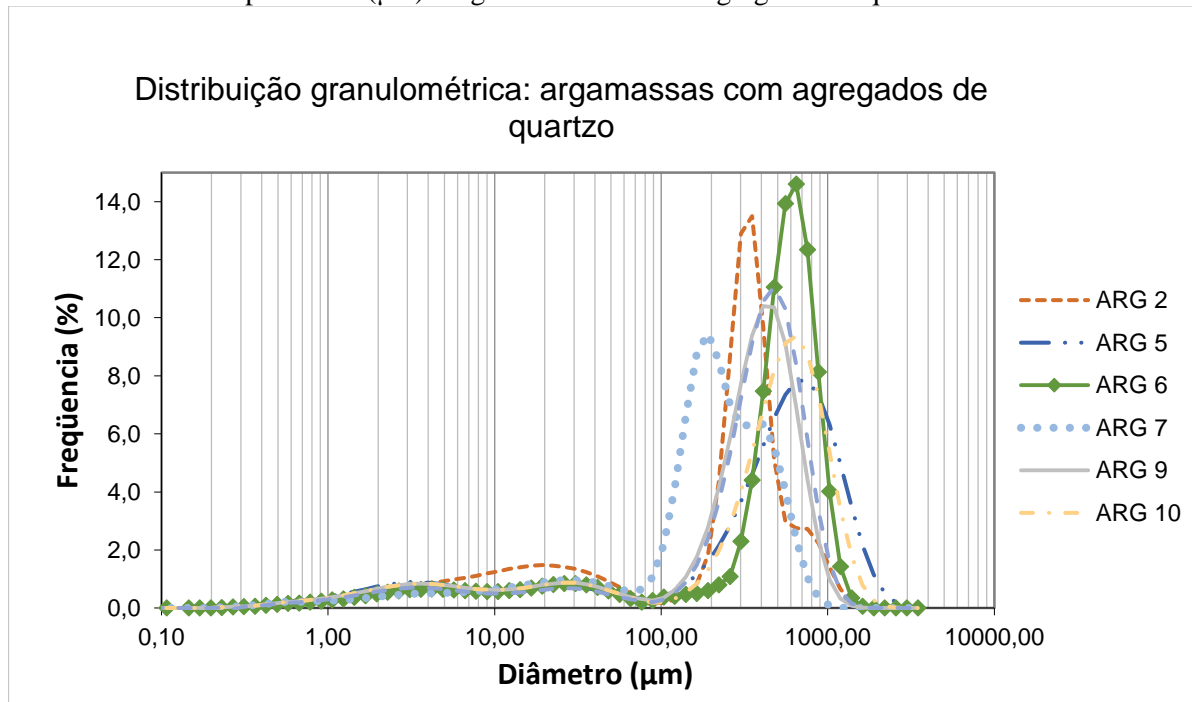
De forma geral, observa-se que a intensidade dos picos na região dos agregados ($>100\mu\text{m}$) aumenta na Figura 4.8. A mesma lógica é observada na Figura 4.9. As distribuições granulométricas visualizadas na Figura 4.9 apresentam uma curva granulométrica (CG) bem aberta com menor frequência. Outra característica importante de salientar são que as CG são bimodais para as amostras ARG 1, ARG 3 e ARG 8, as quais indicam concentrações de partículas em dois picos, e trimodal para a argamassa ARG 4, indicando concentrações de partículas em três picos. Com base nesses resultados, infere-se que essas argamassas podem ser compostas com duas ou mais areias, ou apenas uma areia que tenha picos bem concentrados.

Figura 4.8: Distribuição granulométrica discreta das argamassas. Frequência (%) vs. diâmetro de partículas (μm). Argamassas contendo agregados calcários.



(O AUTOR)

Figura 4.9: Distribuição granulométrica discreta das argamassas. Frequência (%) vs. diâmetro de partículas (μm). Argamassas contendo agregados de quartzo.



(O AUTOR)

As distribuições granulométricas analisadas na Figura 4.9 são curvas granulométricas das argamassas compostas por agregados de quartzo. As argamassas ARG2 e ARG6, apresentam distribuições dos agregados estreitas e intensas, a ARG2 mesmo apresentando intensidade no pico apresenta uma característica bimodal enquanto que a ARG6, monomodal. Outras argamassas com característica monomodal são as ARG5, ARG9, e ARG10 essas possuem uma distribuição mais aberta. A ARG7, apresenta uma curva granulométrica bimodal e diferentemente da ARG2, possui uma distribuição mais aberta.

A distribuição granulométrica e a densidade são características que influenciam no empacotamento e comportamento reológico de argamassas e concreto, e além dessas duas características há outro fator, morfologia dos agregados, que exerce grande alteração no desempenho dos produtos. A Figura 4.10 dispõem a média dos resultados do grau de arredondamento dos agregados. Verifica-se que entre os agregados calcários e de quartzo não há diferença significativa no arredondamento, esperava-se que devido a cominuição da areia calcária o arredondamento das partículas, dessa areia, seria significativamente menor. No geral os coeficientes de variação (CV) calculados foram baixos, o único CV que supera 10% foi a ARG 2, composta com agregados de quartzo, que apresentou um CV de 11,5%.

Figura 4.10: Arredondamento dos agregados. Considera-se 1 como uma esfera perfeita. CV: coeficiente de variação dos agregados das argamassas.

Código	Arredondamento dos agregados	Coeficiente de variação
ARG 1	0,71	5,7
ARG 2	0,73	11,5
ARG 3	0,70	6,2
ARG 4	0,70	6,6
ARG 5	0,76	3,2
ARG 6	0,74	4,0
ARG 7	0,71	5,2
ARG 8	0,70	8,7
ARG 9	0,71	5,1
ARG 10	0,72	4,4

(O AUTOR)

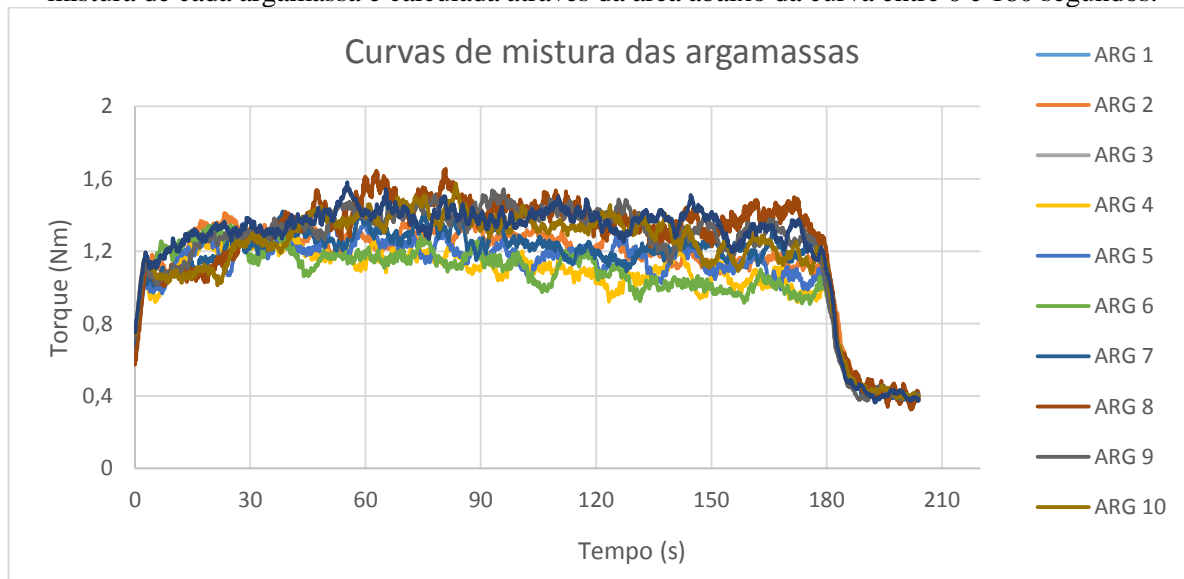
4.5. Caracterização das argamassas em laboratório

Utilizando os teores de água definidos no item 4.2, as argamassas foram caracterizadas no estado fresco e endurecido em ambiente de laboratório. Essa caracterização tem o objetivo de mensurar os parâmetros das argamassas sem interferências do processo de mistura que pode ocorrer no processo de preparo da argamassa para a aplicação em campo.

4.5.1. Laboratório - Estado fresco da argamassa

Para a caracterização em laboratório no estado a fresco, foram realizados os ensaios de densidade no estado fresco, retenção de água e squeeze-flow e reometria. A análise reológica pelo reômetro rotacional nesta etapa tem o objetivo de mensurar qual a energia necessária para misturar a argamassa. A Figura 4.11 apresenta os dados tratados obtidos através do reômetro rotacional, a partir desses dados calculou-se a energia de mistura das argamassas cujo o valor é obtido através do cálculo da área abaixo da curva entre 0 e 180 segundos.

Figura 4.11: Curvas de mistura das argamassas testadas no reômetro rotacional. A energia total de mistura de cada argamassa é calculada através da área abaixo da curva entre 0 e 180 segundos.



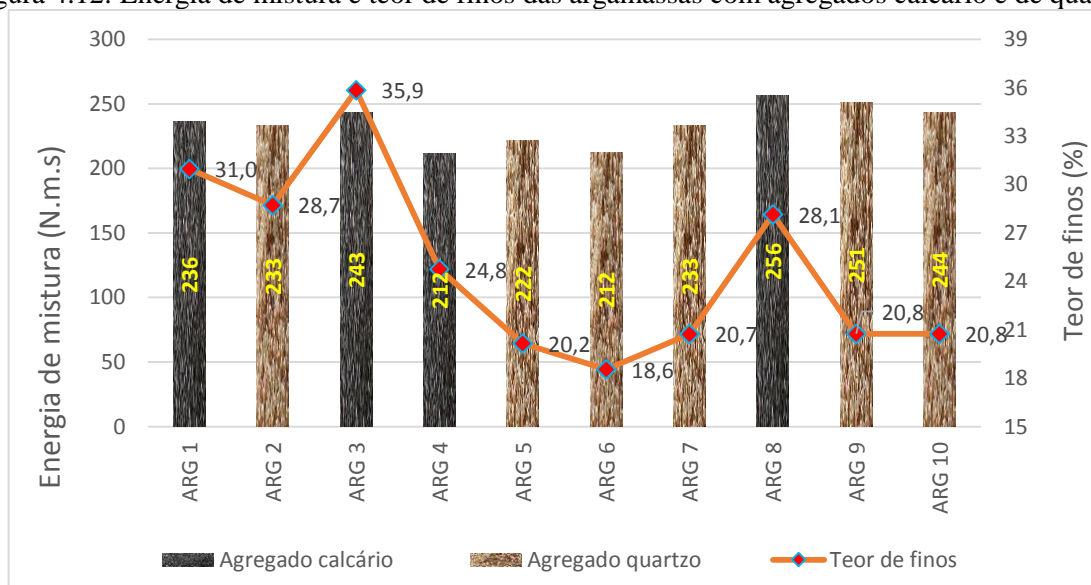
(O AUTOR)

A análise granulométrica das argamassas demonstra que em sua maioria as argamassas compostas por agregados calcários apresentam maiores teores de finos. Maiores teores de finos podem influenciar negativamente na energia de mistura da argamassa. A Figura 4.11 dispõem

os resultados de energia de mistura com o teor de finos das argamassas. Esperava-se que a argamassa ARG3 cujo teor de finos foi o mais alto, apresentasse maior energia de mistura, no entanto a ARG8 com 28,1% de teor de finos apresentou a maior energia de mistura.

A água pode causar influência na dispersão das partículas do sistema multifásico da argamassa alterando a energia de mistura. A Figura 4.12 contém os resultados de energia de mistura com o teor de água utilizado na mistura. Os resultados indicam que não houve correlação da influência do teor de água. Pode-se atribuir essa não correlação entre os teores de finos e água com a energia de mistura por causa da influência que os aditivos químicos podem causar.

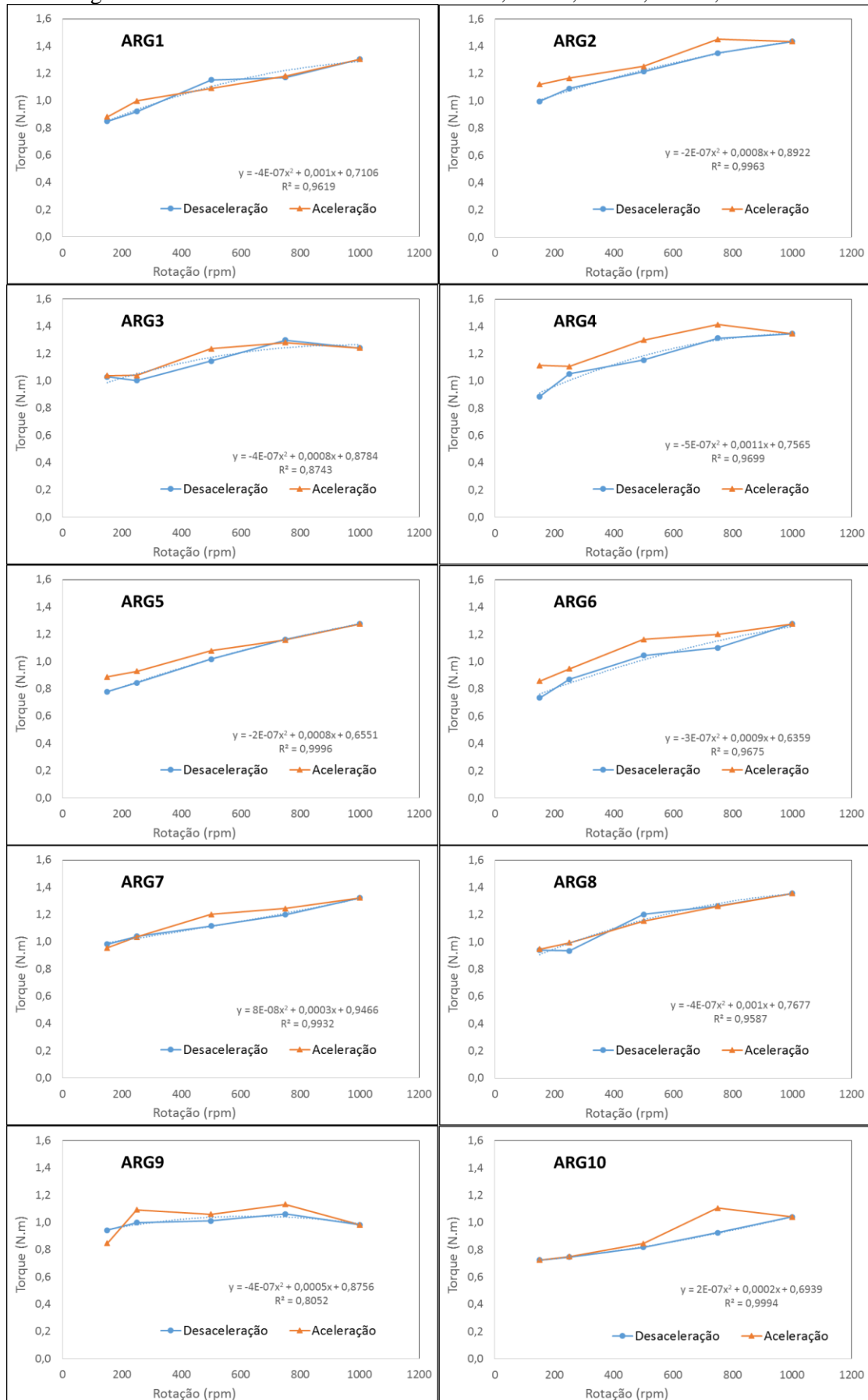
Figura 4.12: Energia de mistura e teor de finos das argamassas com agregados calcário e de quartzo.



(O AUTOR)

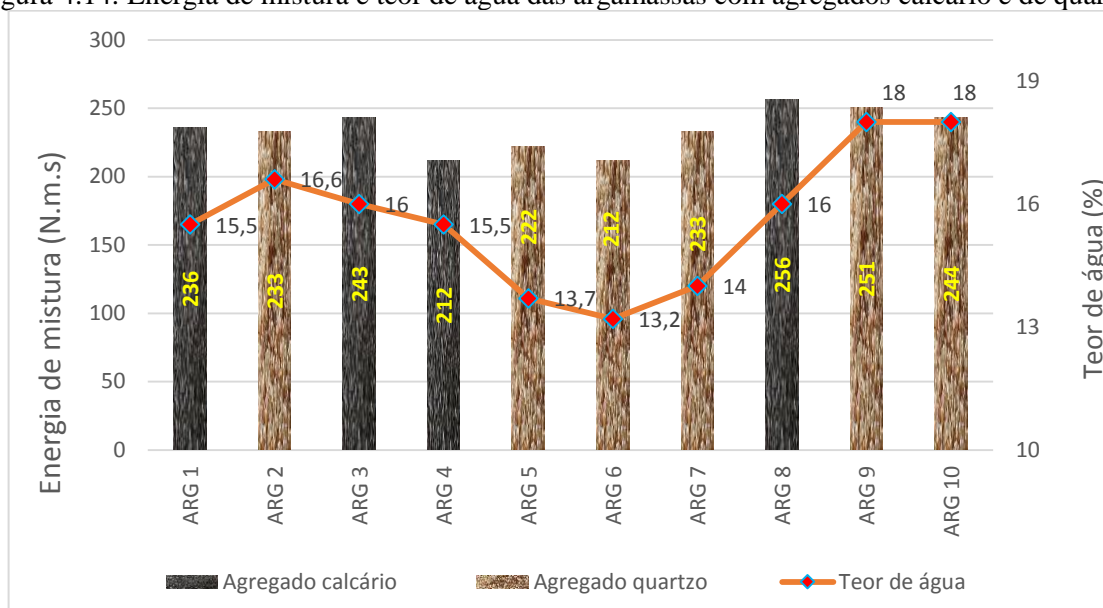
Após as análises de energia de mistura, as argamassas foram submetidas ao ensaio de ciclo de cisalhamento. Analisando os ciclos das argamassas ARG2, ARG3, ARG4, ARG9, e ARG10, disposta na Figura 4.13, o comportamento reológico dessas amostras são semelhantes, na aceleração apresentam característica dilatante com tensão de escoamento, no entanto no patamar 750 rpm para 1000 rpm há uma pequena queda no cisalhamento da argamassa. Na desaceleração as amostras apresentam característica pseudoplástico com tensão de escoamento. As argamassas ARG1, ARG5, ARG6, ARG7 e ARG8 apresentam comportamento reológico semelhantes, todas apresentam aumento da viscosidade à medida em que há um aumento do torque.

Figura 4.13: Ciclos de cisalhamento. Amostras, ARG1, ARG2, ARG3, e ARG4.



(O AUTOR)

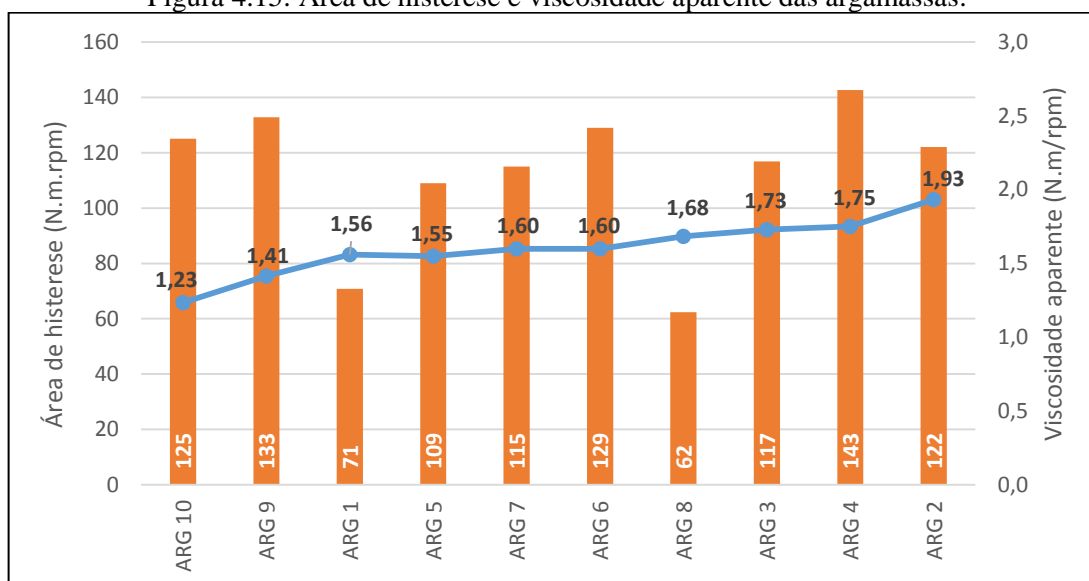
Figura 4.14: Energia de mistura e teor de água das argamassas com agregados calcário e de quartzo.



(O AUTOR)

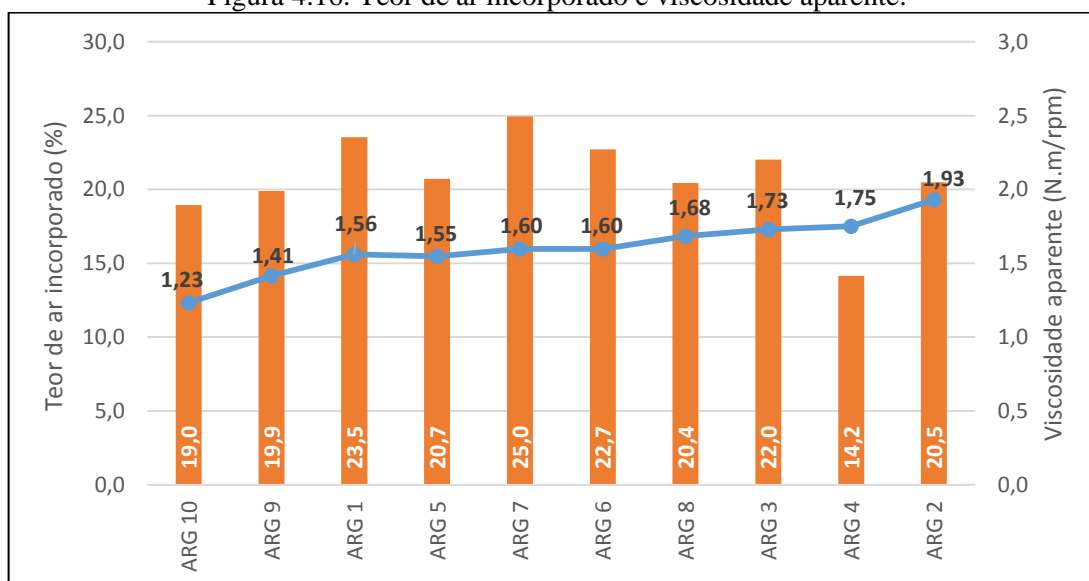
Sabe-se que a área de histerese indica o estado de dispersão, e maiores áreas de histerese indicam que o processo de mistura não forneceu energia suficiente para quebrar os aglomerados, logo pequenas áreas de histerese inferem que a mistura forneceu energia suficiente para a quebra dos aglomerados. Os resultados da área de histerese e viscosidade aparente das argamassas são visualizados na Figura 4.15, sendo que os resultados foram ordenados da menor para a maior viscosidade aparente. A menor área de histerese (62 N.m.rpm) foi detectada na ARG8, enquanto que a maior foi para a ARG7 (143 N.m.rpm). Ainda na Figura 4.15, verifica-se que não há uma correlação entre a viscosidade aparente das argamassas com a área de histerese. Um fator que pode causar influência na área de histerese é o teor de ar incorporado, espera-se que quanto maior o teor de ar incorporado menor seja a viscosidade da aparente da argamassa. A Figura 4.16 apresenta os resultados da viscosidade aparente da argamassa correlacionado o teor de ar incorporado. A maior viscosidade foi detectada na argamassa ARG2, contudo não foi a que apresentou o menor teor de ar incorporado. Essa característica pode ser influenciada pelos aditivos retentores de água que ao serem inseridos no sistema aumentam a viscosidade.

Figura 4.15: Área de histerese e viscosidade aparente das argamassas.



(O AUTOR)

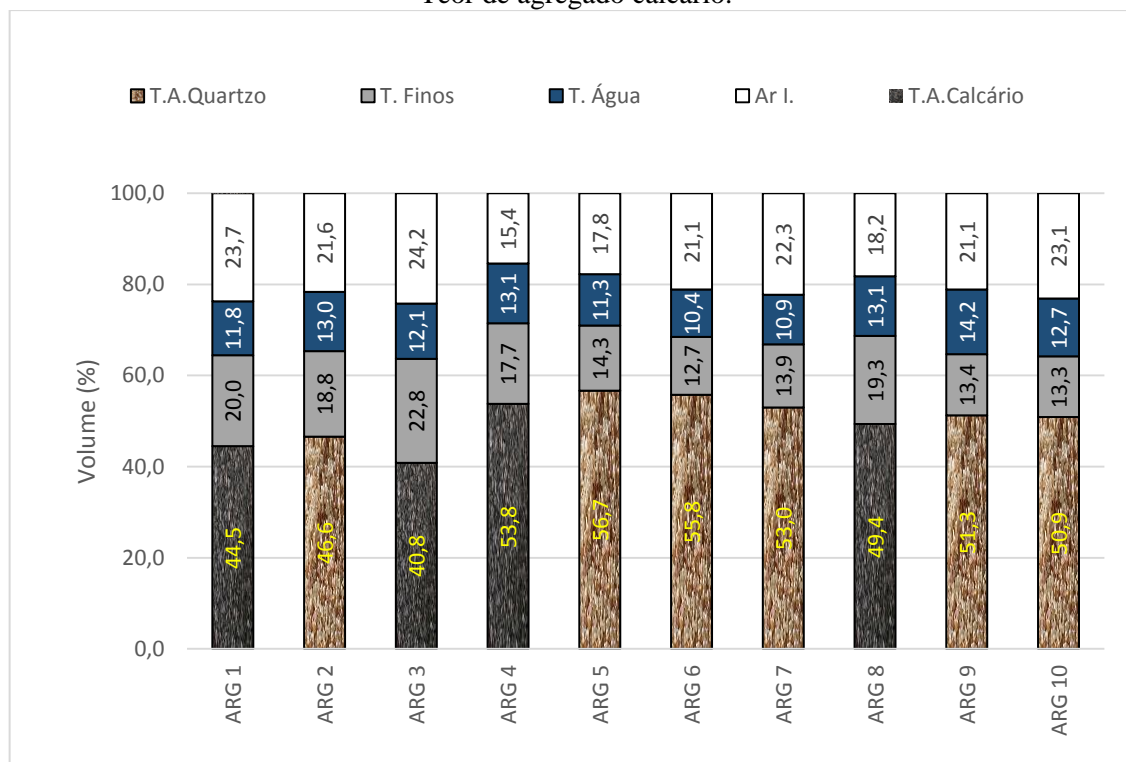
Figura 4.16: Teor de ar incorporado e viscosidade aparente.



(O AUTOR)

A distribuição volumétrica das fases no estado fresco das argamassas é visualizada na Figura 4.17. As argamassas compostas por agregado calcário verificam-se que há um maior percentual volumétrico, isso deve-se pelo maior teor de finos que influencia no teor de matriz da argamassa. Já as argamassas com agregado de quartzo já possuem teores semelhante entre eles.

Figura 4.18: Distribuição de fases das argamassas no estado fluido. T.A.Quartzo: Teor de agregado de quartzo. T.Finos: Teor de finos. T.Água: Teor de água. Ar I.: Teor de ar incorporado. T.A.Calcário: Teor de agregado calcário.



(O AUTOR)

A Figura 4.19, dispõem os resultados máximos e a média dos resultados de retenção de água (R.A.), densidade a fresco (D.F.) e teor de ar incorporado (A.I.). Confirmando as informações extraídas da sacaria discutidas no item 4.1, verifica-se que há grande variação entre os produtos. Para a mesma aplicação há argamassas com 71% e 85% de retenção de água, densidade a fresco apresenta resultados mínimo de 1661 kg/m³ e máximo de 1874 kg/m³, para o teor de ar incorporado as argamassas também apresentaram grande variação, com valores de 15,4 % a 24,2%. As argamassas ARG 6 e ARG 9 apresentam uma diferença de 80 kg/m³, contudo, essa diferença não interferiu no teor de ar incorporado cuja as argamassas apresentam o mesmo resultado (21,1%). Com relação à retenção de água das argamassas de um modo geral excluindo a ARG4, as argamassas do centro norte (CN) e nordeste (ND), apresentam retenção de água maior que as argamassas do sul (SU) e sudeste (SD), esse fato pode estar ligado às regiões com maior temperatura e em alguns casos com baixa umidade relativa do ar. A maior retenção de água tende a apresentar menos fissuras por retração na transição do estado plástico para o estado semirrígido.

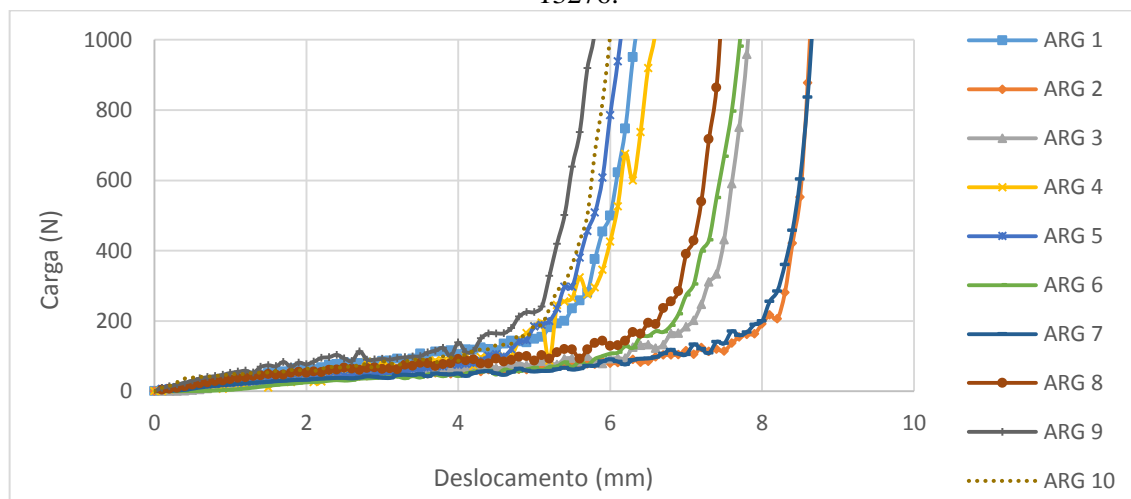
Figura 4.19: Caracterização em laboratório no estado fresco das argamassas. R.A.: retenção de água da argamassa, dado em porcentagem; D.F.: densidade no estado s fresco das argamassas, em kg/m³; A.I.: teor de ar incorporado da argamassa em porcentagem.

Código	Regional	R.A. %	D.F. kg / m ³	A.I. %
ARG 1	CN	81	1716	23,7
ARG 2	ND	82	1699	21,6
ARG 3	SD	83	1700	24,2
ARG 4	SD	85	1874	15,4
ARG 5	SD	75	1833	17,8
ARG 6	SD	75	1763	21,1
ARG 7	SU	77	1708	22,3
ARG 8	SU	77	1807	18,2
ARG 9	SU	71	1687	21,1
ARG 10	SU	71	1661	23,1

(O AUTOR)

A análise reológica da argamassa realizada através do ensaio *squeeze-flow*, é visualizada na Figura 4.20. A análise do gráfico pode-se dividir as curvas em 3 classes, a classe 1 são as argamassas ARG1, ARG4, ARG5, ARG9 e ARG10, com deslocamento entre 4mm e 6mm, nessa classe o menor teor de ar incorporado foi de 15,4% e maior 23,7% para a amostras ARG4 e ARG1 respectivamente. A classe 2, com deslocamento entre 6mm e 8 mm, contém as argamassas ARG3, ARG6 e ARG8, o maior teor de ar incorporado nessa classe foi verificado na amostra ARG3 (24,2%) e menor teor para a ARG8 (18,2%). A classe 3 com deslocamento maior que 8 mm, foram encontradas nas argamassas ARG2 e ARG7.

Figura 4.20: Resultado do ensaio Squeeze-flow das argamassas misturadas conforme ABN NBR 13276.



(O AUTOR)

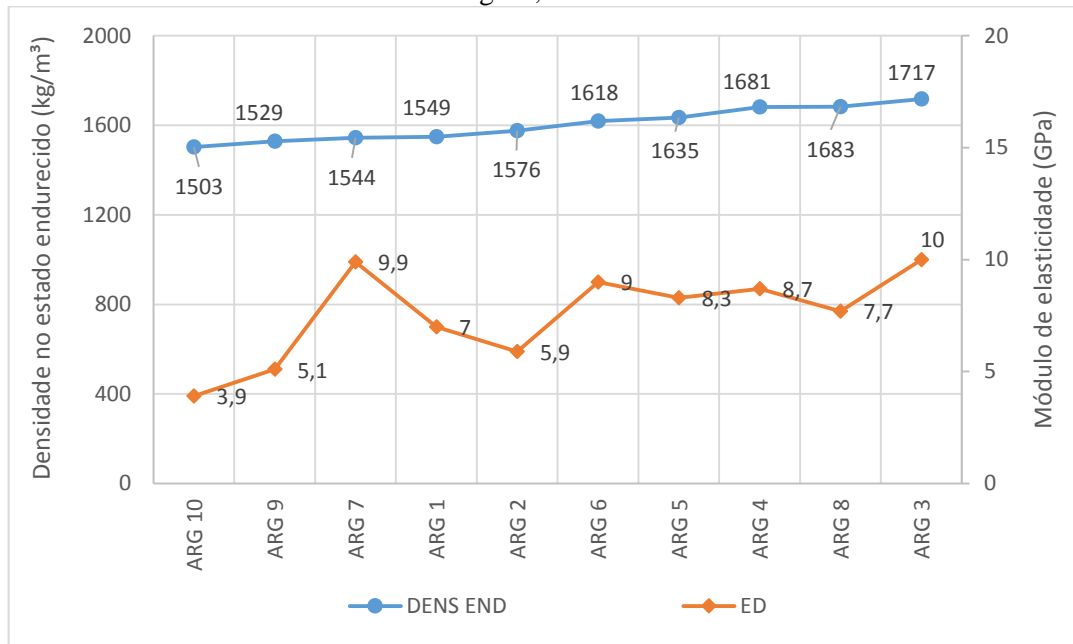
4.5.2. Laboratório - Estado endurecido da argamassa

Para o estado endurecido da argamassa foram analisadas quanto a sua resistência à compressão, densidade no estado endurecido, módulo de elasticidade, resistência à flexão, e coeficiente de absorção por capilaridade.

Para uma mesma argamassa quanto maior a densidade no estado endurecido maior será o módulo de elasticidade. Os dados dispostos na Figura 4.21, foram ordenados de forma crescente de densidade no estado endurecido (DENS END) e, ao correlacionar a densidade com o módulo de elasticidade (ED), verifica-se que pouca correlação entre as argamassas. Isso ocorre por causa das diferenças entre agregados, composição teor de finos e curva granulométrica das argamassas, cujos comparativos foram discutidos nos itens 4.3 e 4.4.

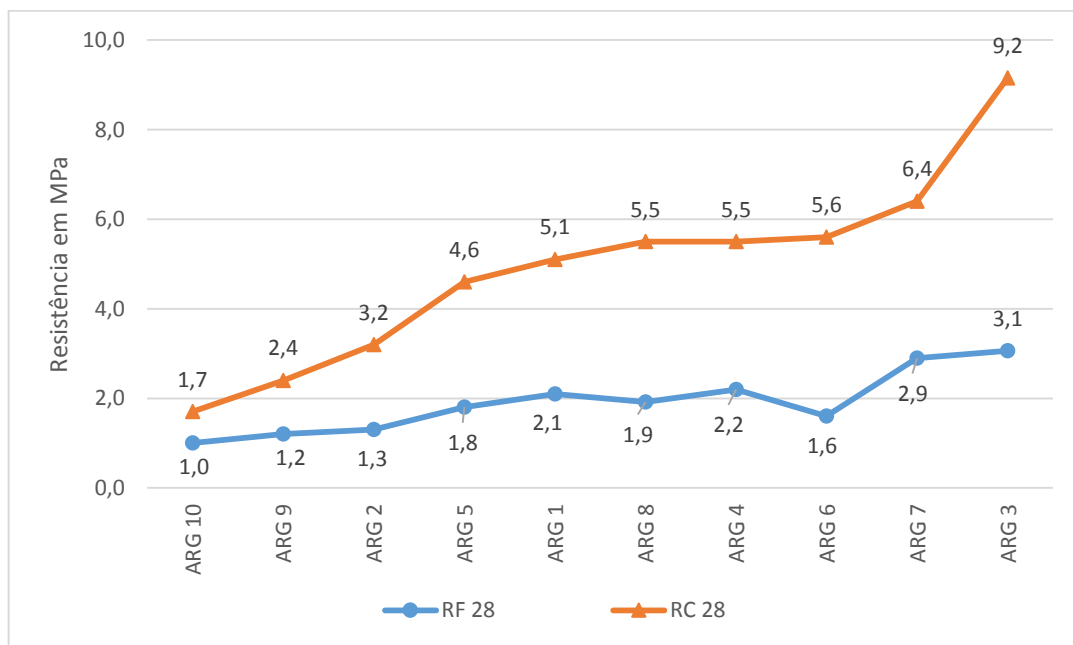
Os resultados de resistência à flexão e compressão são apresentados na Figura 4.22, os dados foram ordenados da menor para a maior resistência à compressão, e verifica-se que há grande diferenças de resistência à compressão entre as amostras analisadas. Ao analisar os extremos dos resultados à compressão, encontram-se resultados de 1,7 MPa (ARG 10) e 9,2 MPa (ARG 3). Para a compreensão dessa disparidade entre os resultados há a necessidade de analisar alguns parâmetros já citados como, o teor de ar incorporado e o teor de finos da argamassa que podem ajudar a esclarecer esses resultados. Ao analisar esse parâmetro verifica-se que ambas possuem A.I. muito próximos 24,3% para a ARG3 e 23,1% para a ARG10, indicando que esse parâmetro não é o grande influenciador. A análise do teor de finos das argamassas apresenta grande disparidade, 35,85% para a ARG 3 e 23,1% para a ARG 10. Provavelmente o percentual de aglomerante adicionado na ARG 3 seja maior que a adição para a ARG 10, esclarecendo a maior resistência à flexão e compressão.

Figura 4.21: Resultados de densidade no estado endurecido e módulo de elasticidade. DENS END: Densidade no estado endurecido dado em kg/m^3 ; ED: Módulo de elasticidade aos 28 dias em GPa.



(O AUTOR)

Figura 4.22: Resultados de resistência mecânica das argamassas. RF 28: Resistência à flexão aos 28 dias; RC 28: Resistência à compressão aos 28 dias.



(O AUTOR)

4.6.Caracterização das argamassas em campo

Para as análises em campo, foram misturadas 160 kg de argamassa as quais foram separadas em 4 caixas para as aplicações em tempos de 0, 1, 2, e 3 horas contadas a partir da mistura com a água. A maior quantidade de análises concentrou-se nesta etapa. A análise em campo consiste em verificar o desempenho da argamassa em painéis testes, sendo que a análise ocorreu em função do tempo e acréscimo de água, paralelamente a argamassa foi analisada no estado a fresco nos tempos determinados, executando moldagens para ensaios no estado endurecido.

4.6.1. Campo – estado a fresco da argamassa

As argamassas foram analisadas no estado a fresco pela densidade, teor de ar incorporado, squeeze-flow, e reometria rotacional. Na Figura 4.23 apresentam-se o teor de água utilizada para a mistura inicial (T0), o acréscimo de água para os tempos de utilização T1, T2 e T3, e a perda de água por evaporação. O teor de água real das argamassas é a soma da água adicionada na mistura inicial e o acréscimo de água em seus respectivos tempos (T1, T2 e T3) subtraído da perda por evaporação para cada tempo. Das dez argamassas analisadas, para três (ARG1, ARG4 e ARG8) houve a necessidade de acréscimo de água já na primeira hora, em três argamassas (ARG3, ARG7, e ARG9) ocorreu o acréscimo de água a partir de duas horas, outras duas argamassas (ARG5 e ARG6) tiveram adições após 3 horas, e para duas argamassas (ARG2e ARG10) não foi necessário o acréscimo de água. Outra informação extraída a partir da Figura 4.23, são as argamassas que atenderam ao tempo de utilização de duas horas de acordo com as informações do fabricante. As argamassas ARG2, ARG5, ARG6, ARG10 atenderam ao período de duas horas de utilização sem o acréscimo de água.

Figura 4.23: Teores de água nos tempos T1, T2 e T3 considerando os acréscimos de água e as perdas por evaporação.

Código	Adição de água para a mistura inicial	Acréscimo de água por hora				Perda de água por evaporação				Teor e água real
		T1	T2	T3	Total	T1	T2	T3	Total	
ARG1	15,50%	0,9%	T1+1,1%	T2+0,5%	2,5%	0,2%	T1+0,5%	T2+0,3%	1,0%	17,0%
ARG2	16,60%	-	-	-	0,0%	0,3%	T1+0,3%	T2+0,3%	0,9%	15,7%
ARG3	16,00%	-	0,50%	T2+1,0%	1,5%	0,3%	T1+0,3%	T2+0,2%	0,8%	16,7%
ARG4	15,50%	0,3%	T1+0,7%	T2+0,6%	1,6%	0,2%	T1+0,2%	T2+0,2%	0,6%	16,5%
ARG5	13,70%	-	-	0,40%	0,4%	0,3%	T1+0,3%	T2+0,3%	0,9%	13,2%
ARG6	13,20%	-	-	0,30%	0,3%	0,1%	T1+0,3%	T2+0,3%	0,8%	12,7%
ARG7	14,00%	-	0,20%	T2+0,5%	0,7%	0,3%	T1+0,2%	T2+0,2%	0,7%	14,0%
ARG8	16,00%	0,8%	T1+0,8	T2+0,9	2,5%	0,3%	T1+0,3%	T2+0,2%	0,8%	17,7%
ARG9	18,00%	-	0,40%	T2+0,6%	1,0%	0,3%	T1+0,3%	T2+0,3%	0,9%	18,1%
ARG10	16,50%	-	-	-	0	0,4%	T1+0,5%	T2+0,4%	1,3%	15,2%

(O AUTOR)

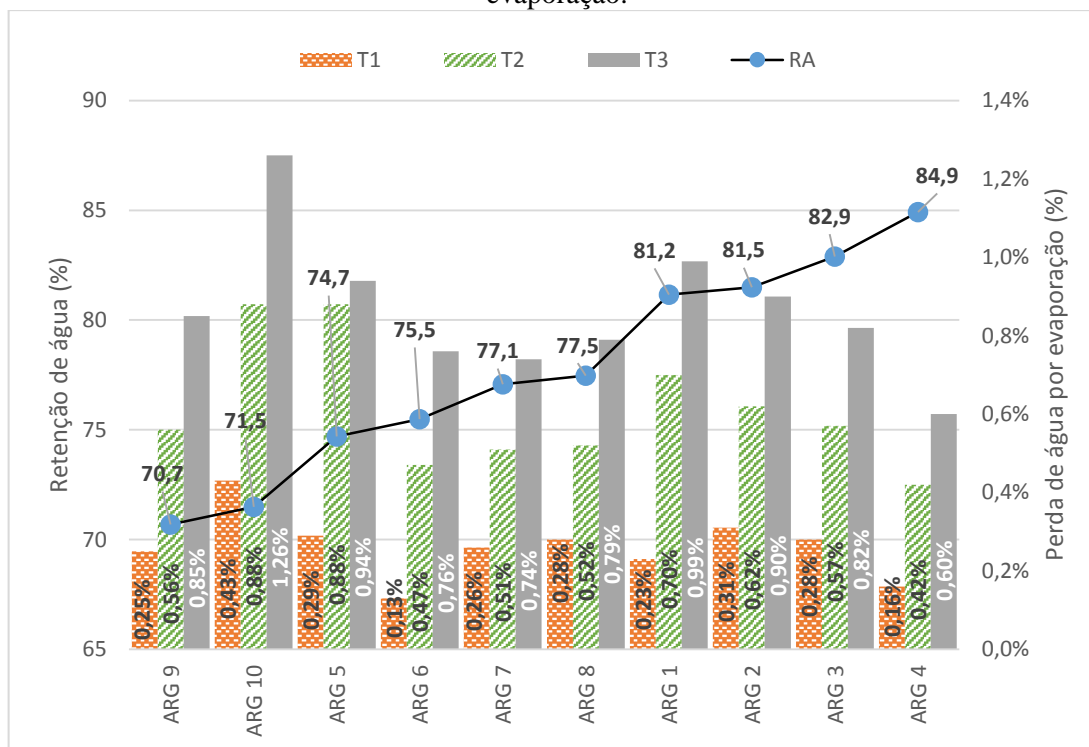
Pode-se dividir em 3 fatores influentes na evaporação da água das argamassas. O primeiro fator é a temperatura e umidade, cujos corpos de prova foram acondicionados em ambiente com temperatura e umidade controlada. O segundo fator são as características físicas da argamassa como, curva granulométrica, rugosidade do agregado e tipo do agregado miúdo. O terceiro fator corresponde aos fatores químicos inerentes às aditivações e funções de cada aditivo inserido na argamassa.

4.6.1.1 – Análise da Retenção de água e do Teor de Ar incorporado

A NBR 13277 – 2005 prescreve o método que determina a capacidade da retenção de água em argamassas. A Figura 4.24 apresenta a correlação entre a capacidade de retenção de água das argamassas e o percentual evaporado durante cada período. Os resultados foram ordenados da menor para a maior retenção de água, visualiza-se desta forma que há subgrupos nesta amostragem. O primeiro grupo composto pelas amostras, ARG9 e ARG10, são argamassas com a menor capacidade de retenção de água os resultados desse grupo estão entre 68,3% e 71,5%. O segundo grupo, ARG5, ARG6, ARG7, e ARG8, são as argamassas classificadas como retenção de água mediana com intervalos entre 74,7% e 77,5%. O terceiro e último grupo contém as argamassas ARG1, ARG2, ARG3 e ARG4, com maiores retenções

de água entre 81,2% e 84,9%. No geral há uma certa tendência das argamassas com maiores retenções de água apresentarem menor perda de água por evaporação. Contudo, ao analisar as amostras dos grupos 1 e 3 (ARG9 e ARG3) as retenções de água são 70,7% e 82,9%, respectivamente, a grande diferença entre as retenções de água não apresentou diferenças significativas na perda de água por evaporação.

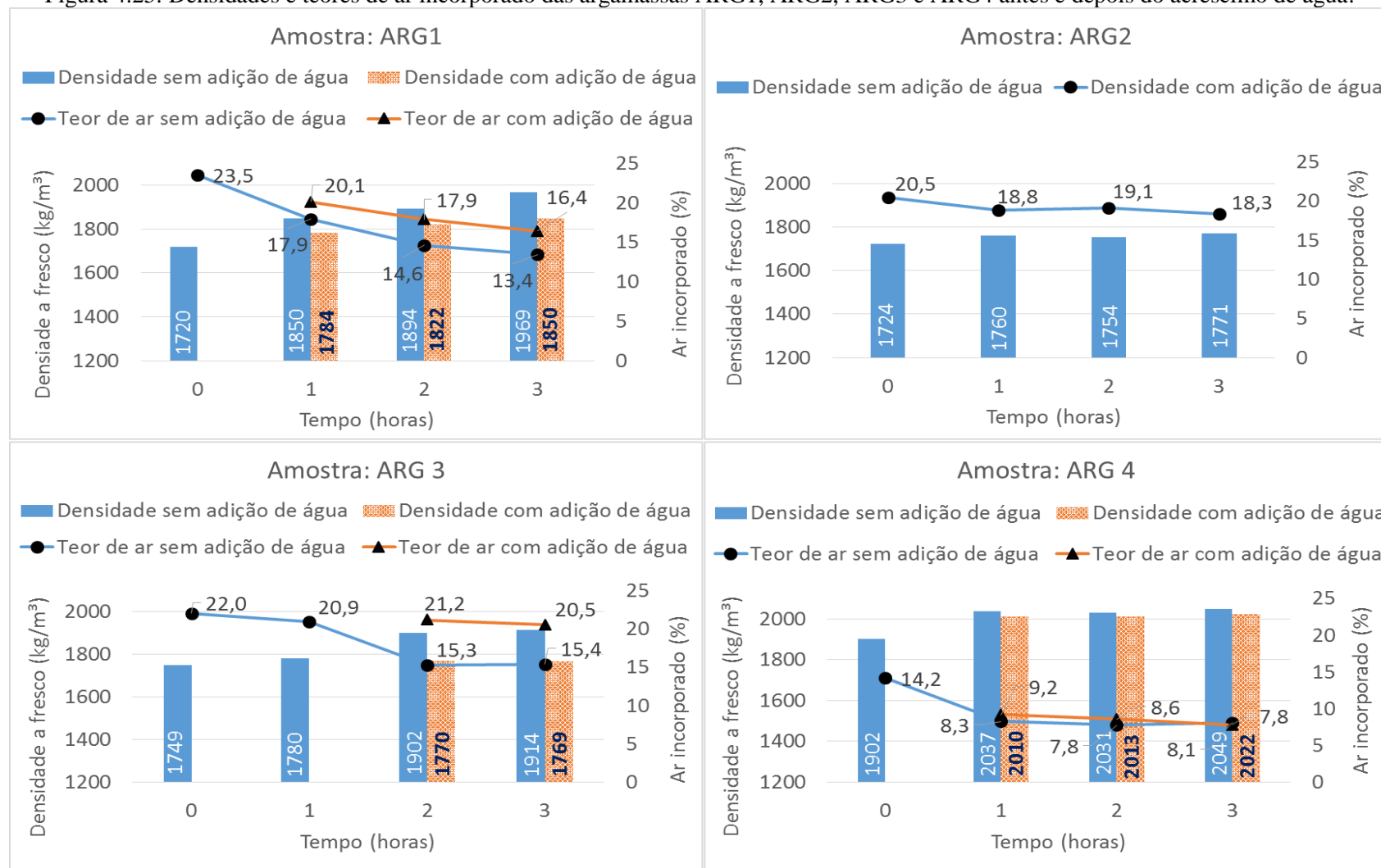
Figura 4.24: Relação entre a capacidade de retenção de água das argamassas e a perda de água por evaporação.



(O AUTOR)

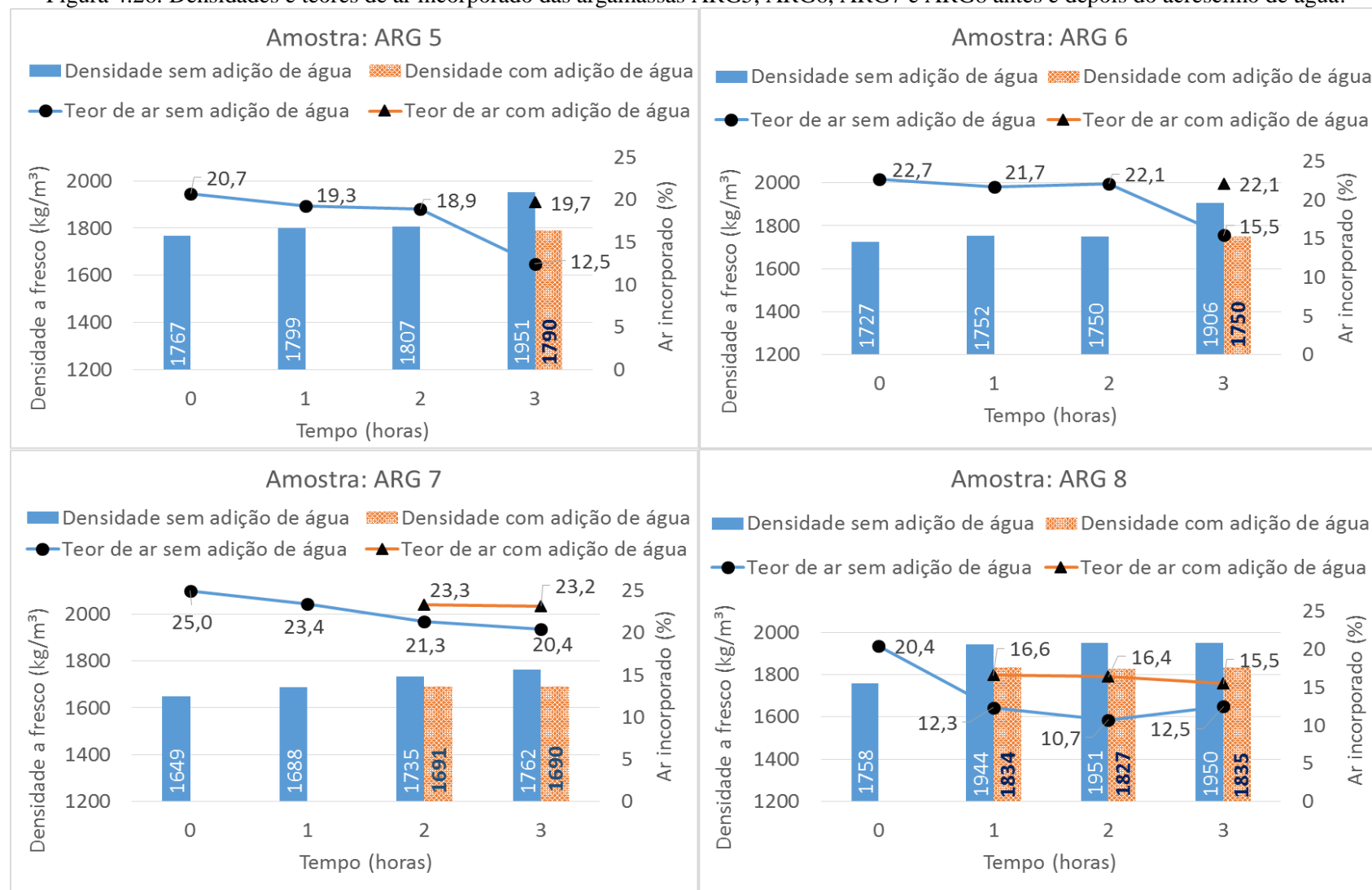
A partir do teor de água real das argamassas (Figura 4.23), calculou-se os teores de ar incorporado de cada argamassa em função da densidade em cada tempo. A Figura 4.25 a Figura 4.27, apresentam os resultados dos cálculos. Verifica-se que nas argamassas ARG2 e ARG10 não ocorreram grandes perdas de ar incorporado, 1,4% e 1,0% respectivamente, e consequentemente não houve a necessidade do acréscimo de água durante as 3 horas de análise. As ARG1, ARG4 e ARG8 necessitaram de acréscimo de água já a partir da primeira hora, a ARG4 em especial mesmo com a adição de água não teve a capacidade de aumentar o teor de ar incorporado. A amostra ARG3 teve o acréscimo de água após duas horas contada a partir do contato com a água, enquanto que as argamassas ARG5, ARG6 e ARG7 o acréscimo de água ocorreu apenas com três horas de utilização.

Figura 4.25: Densidades e teores de ar incorporado das argamassas ARG1, ARG2, ARG3 e ARG4 antes e depois do acréscimo de água.



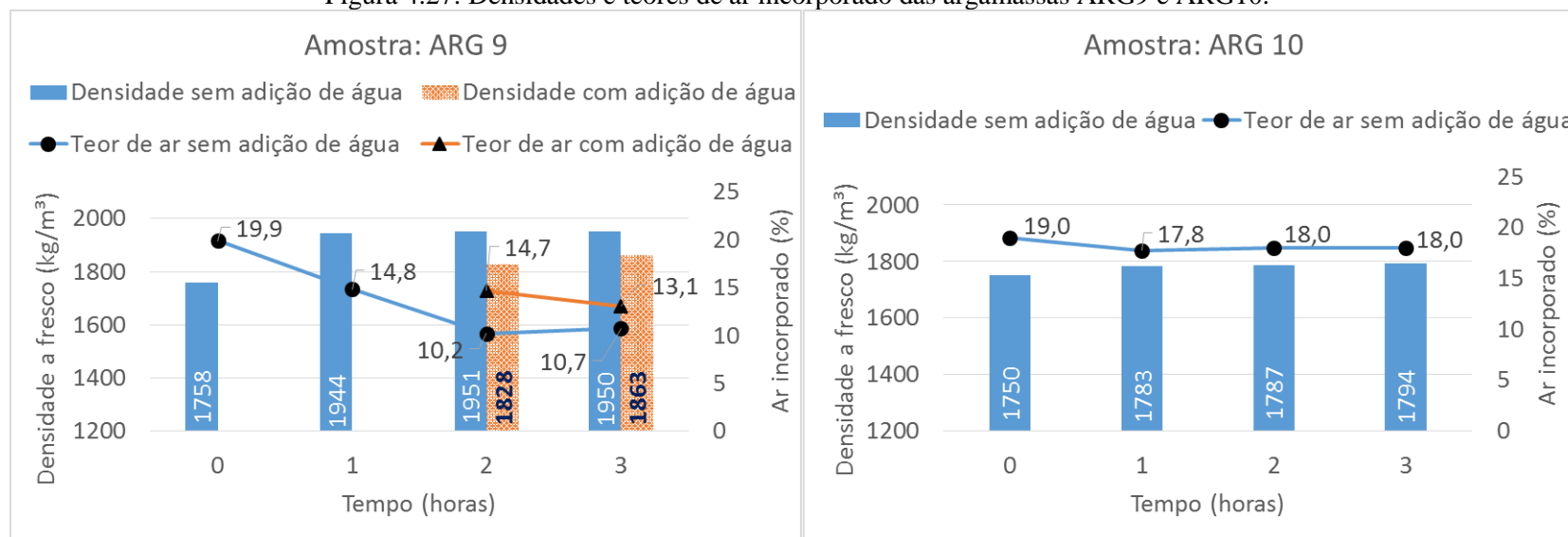
(O AUTOR)

Figura 4.26: Densidades e teores de ar incorporado das argamassas ARG5, ARG6, ARG7 e ARG8 antes e depois do acréscimo de água.



(O AUTOR)

Figura 4.27: Densidades e teores de ar incorporado das argamassas ARG9 e ARG10.



(O AUTOR)

As análises de densidade no estado fresco, teor de ar incorporado e perda de umidade indicam que as argamassas industrializadas perdem suas propriedades no decorrer do tempo, é notória a diferença da densidade e teor de ar incorporado à medida que o tempo avança. O acréscimo de água foi feito de acordo com a solicitação do aplicador, de acordo com o pedreiro o acréscimo se faz necessário para que a argamassa apresentasse a trabalhabilidade muito próxima da inicial. Com o intuito de fugir do empirismo foram executadas análises reológica através do ensaio de *squeeze-flow* das argamassas antes e depois do acréscimo de água.

4.6.1.2 – Análise do comportamento reológico pelo ensaio Squeeze flow

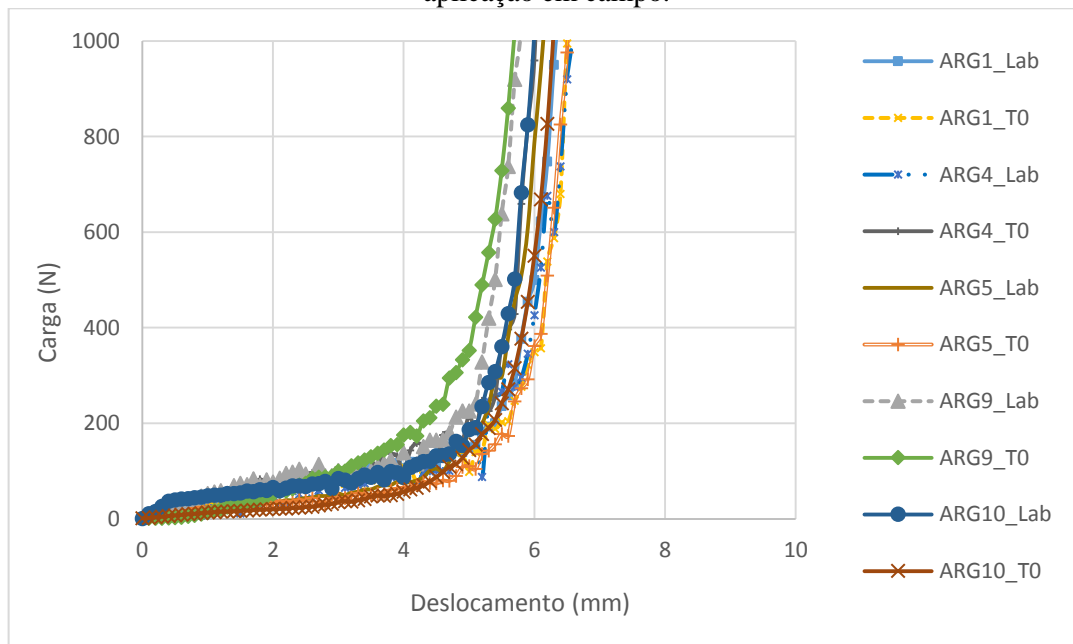
Conforme comentado anteriormente no item 4.5.1, as argamassas foram classificadas em três classes de acordo com os resultados de squeeze-flow. Espera-se que as curvas de squeeze-flow das argamassas misturadas para aplicações dos painéis apresentem resultados próximos das caracterizadas em laboratório. A classe 1, contém as argamassas com deslocamento entre 4mm e 6mm. As argamassas que compõem essa classe são as argamassas ARG1, ARG4, ARG5, ARG9 e ARG10. A Figura 4.28 apresenta as curvas de squeeze-flow das argamassas misturadas pelo procedimento de laboratório e mistura para a aplicação em campo. A análise das curvas indica que todas as argamassas apresentam deslocamento entre 4mm e 6mm, comprovando uma boa homogeneidade da mistura. O ponto que mede o deslocamento máximo é a transição da fase plástica para a fase de enrijecimento. A carga que mede o deslocamento máximo referente ao menor deslocamento, 4mm, foi de aproximadamente 155 Newtons, enquanto que a carga para o maior deslocamento é de 111 Newtons.

A classe 2 apresenta as argamassas cujo deslocamento máximo encontram-se entre 6mm e 8mm. As argamassas que apresentaram esse deslocamento foram a ARG3, ARG6 e ARG8. Os resultados são demonstrados na Figura 4.29, a carga detectada na transição da fase plástica para a fase de enrijecimento para o menor deslocamento da classe 2 foi de aproximadamente 130 Newtons, enquanto que a carga para o deslocamento de 8mm foi cerca de 128 Newtons.

A Figura 4.30, contém as curvas do comportamento reológico das argamassas da classe 3, com deslocamento acima de 8mm. Os resultados da classe 3 apresentam uma incoerência relacionada a ARG7_T0, pois essa argamassa não obteve deslocamento próximo da mistura realizada em laboratório. A hipótese dessa argamassa apresentar maior energia de mistura é

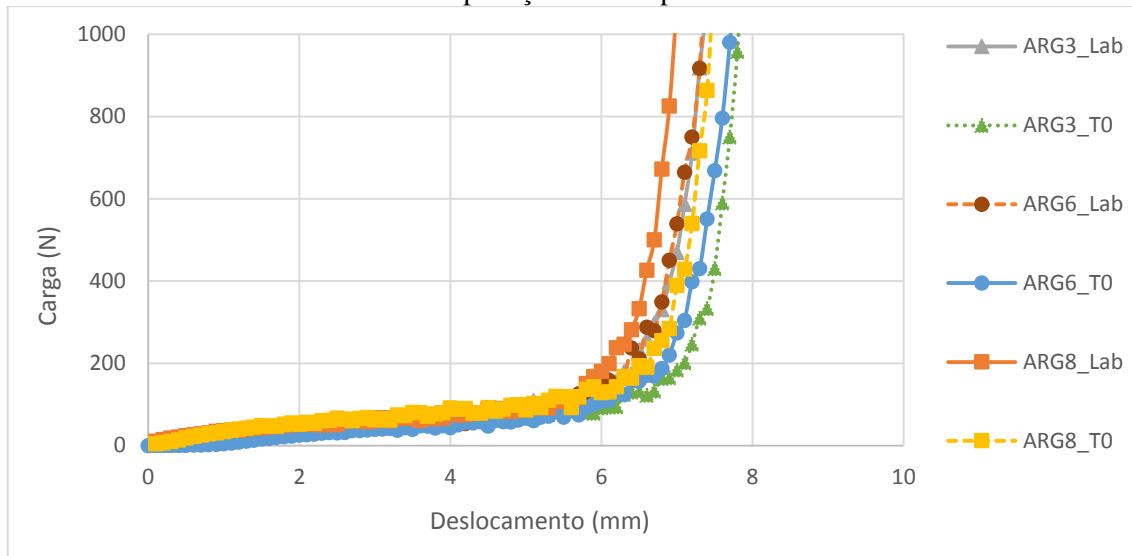
descartada pela análise realizada no reômetro rotacional (Figura 4.15 e Figura 4.16), a energia de mistura e a viscosidade aparente a ARG7 são medianas em relação às outras argamassas. O deslocamento da curva foi de 1 mm em direção da origem, a avaliação do pedreiro a respeito da trabalhabilidade da argamassa foi considerada boa para a aplicação. Outro ponto importante a salientar sobre as argamassas da Figura 4.30, é que o *strainhardening*, ocorre próximo de 8mm, e de acordo com a granulometria das argamassas há partículas com dimensões de 2,4mm. A interferência granulométrica pode ter influenciado na curva obtida na ARG7_T0.

Figura 4.28: Squeeze-flow, argamassas classe 1 com deslocamento entre 4mm e 6mm. ARG_Lab, argamassas misturadas de acordo com a ABNT NBR 13276. ARG_T0, argamassas misturadas para aplicação em campo.



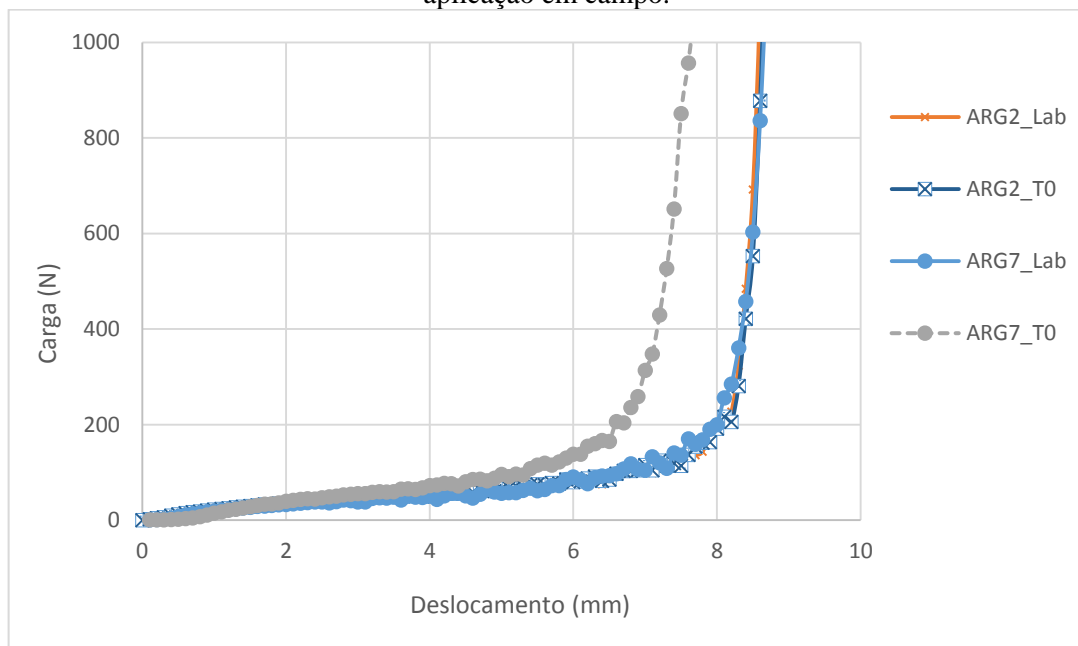
(O AUTOR)

Figura 4.29: Squeeze-flow, argamassas classe 2 com deslocamento entre 6mm e 8mm. ARG_Lab, argamassas misturadas de acordo com a ABNT NBT 13276. ARG_T0, argamassas misturadas para aplicação em campo.



(O AUTOR)

Figura 4.30: Squeeze-flow, argamassas classe 3 com deslocamento acima de 8mm. ARG_Lab, argamassas misturadas de acordo com a ABNT NBT 13276. ARG_T0, argamassas misturadas para aplicação em campo.

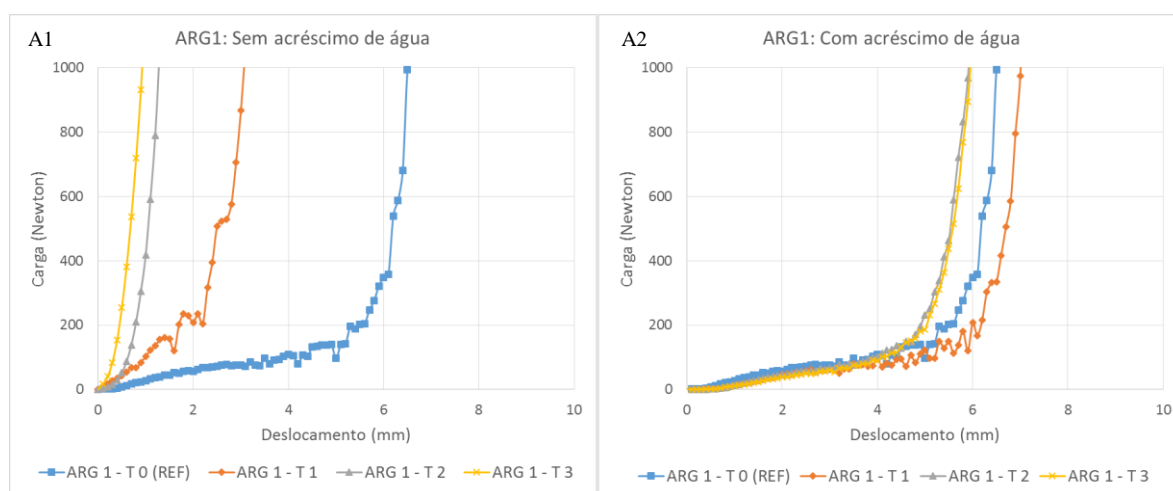


(O AUTOR)

A Figura 4.31: demonstra as curvas adquiridas através do ensaio *squeeze-flow* para a amostras ARG1. A análise do gráfico demonstra que a argamassa apresenta mudança no comportamento reológico à medida em que há um avanço do tempo, comprovando os resultados

de densidade à fresco e teor de ar incorporado apresentados anteriormente. O efeito do tempo de espera pode ser observado na Figura 4.31: A1, de modo que o deslocamento máximo e o ponto de enrijecimento, mudança drástica de angulação da curva diminuem em função do tempo. O deslocamento máximo para a amostra inicial (ARG1-T0), que representa o tempo zero, foi de 5,8 mm, o tempo de espera influenciou no deslocamento máximo para as amostras ARG1-T1, ARG1-T2 e ARG1-T3, comprovando a perda de trabalhabilidade relatada pelo aplicador. O decréscimo no deslocamento máximo para as respectivas amostras foi de aproximadamente 62%, 95% e 98%, demonstrando que já na primeira hora essa argamassa perde mais 50% de seu deslocamento, e a partir de duas horas perde-se mais de 90% do deslocamento.

Figura 4.31: Curva de *squeeze-flow*. A1, argamassa ARG1 Sem acréscimo de água; A2, argamassa ARG1 Com acréscimo de água.

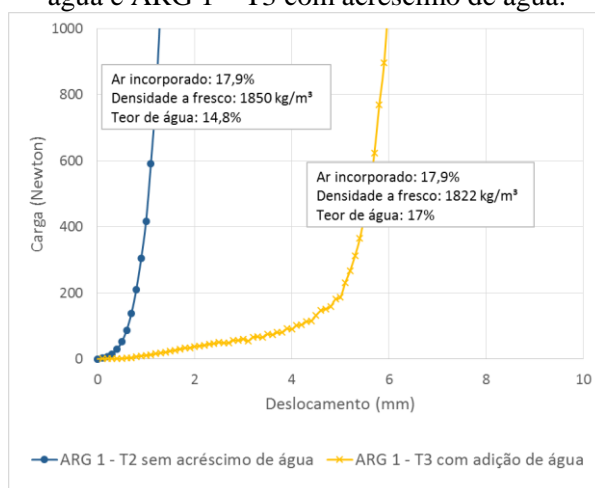


(O AUTOR)

A Figura 4.31: A2, contém as curvas de *squeeze-flow* após o acréscimo de água, a quantidade de acréscimo de água é feita a partir da sensibilidade do pedreiro, a maior adição de água solicitada pelo aplicador tem como objetivo retomar a trabalhabilidade inicial da argamassa. É possível verificar que, a despeito do empirismo adotado na obtenção da trabalhabilidade os perfis de curvas apresentam certa proximidade. Contudo, ao analisar os teores de ar incorporado verificou-se que em diferentes etapas encontram-se o mesmo teor de ar incorporado mas com comportamento reológico diferentes, a amostra ARG1-T2 sem o acréscimo e a ARG1-T3 com o acréscimo de água apresentaram essa característica, ambas apresentaram o teor de ar incorporado de 17,9%. A Figura 4.32 dispõem as curvas de *squeeze-flow*, a ARG1-T2 sem adição de água apresenta maior resistência ao fluxo enquanto que a

ARG1-T3 com adição de água apresenta menor resistência ao fluxo, verifica-se que o maior acréscimo de água influenciou em uma argamassa com menor tensão de escoamento.

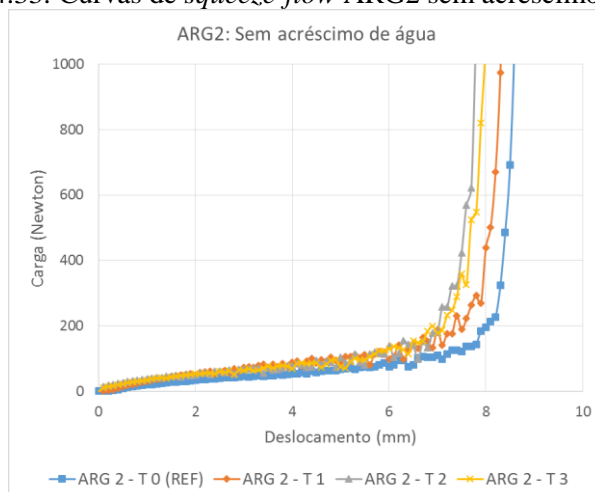
Figura 4.32: Comparativo das curvas de *squeeze-flow* entre as amostras ARG 1 – T2 sem acréscimo de água e ARG 1 – T3 com acréscimo de água.



(O AUTOR)

A amostra ARG2 no decorrer do tempo não houve a necessidade de acréscimo de água de acordo com a sensibilidade do pedreiro, sendo necessário apenas a remistura. A queda no teor de ar incorporado de T0 para T3 foi de 2,2%, o decréscimo de ar incorporado não alterou significativamente o comportamento reológico da argamassa. O comportamento reológico da ARG2 pode ser visualizado na Figura 4.33, o maior deslocamento obtido foi de 7,9 mm para a amostra ARG2-T0, e consequentemente o menor deslocamento, 6,9 mm, foi obtido na amostra ARG2-T3.

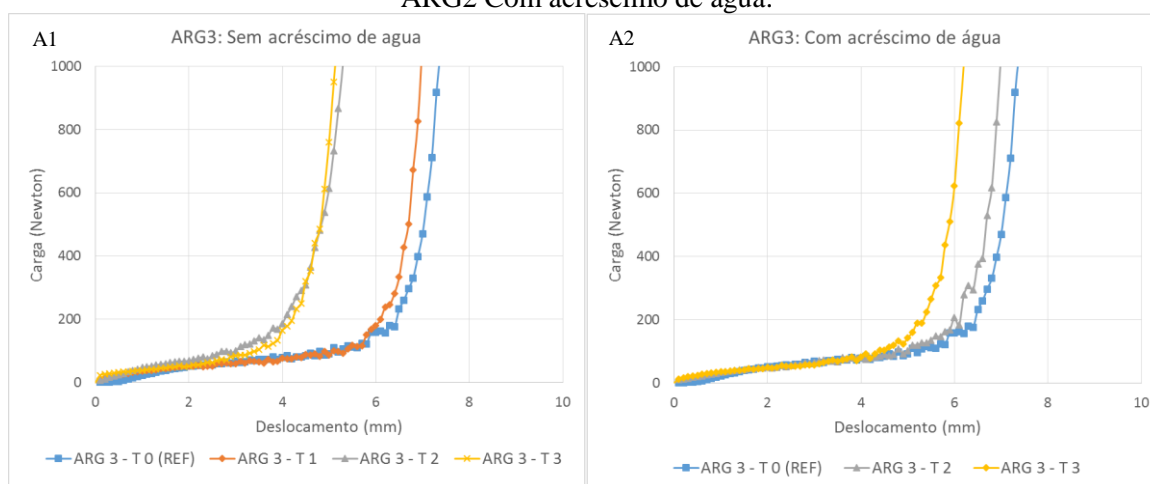
Figura 4.33: Curvas de *squeeze-flow* ARG2 sem acréscimo de água.



(O AUTOR)

A Figura 4.34 A1, é possível verificar que os deslocamentos das amostras ARG3-T0 e ARG3-T1 são similares com 6,3 mm e 6,1 mm respectivamente, indicando que a opinião do aplicador demonstra coerência com relação a trabalhabilidade da argamassa. As amostras ARG3-T2 e ARG3-T3, de acordo com a sensibilidade do pedreiro, havia a necessidade de acréscimo de água, a análise reológica da argamassa executada através do ensaio de *squeeze-flow* (Figura 4.34 A1) indica que a argamassa apresentou um menor deslocamento, cerca de 2 mm a menos que a ARG3-T0 e ARG3-T1. A análise reológica após o acréscimo de água é visualizada na Figura 4.34 A2, verifica-se a amostra ARG3-T2 recuperou a trabalhabilidade apresentando o deslocamento muito próximo de T0, enquanto que a ARG3-T3 não chegou ao deslocamento inicial, contudo, obteve uma boa trabalhabilidade segundo o pedreiro.

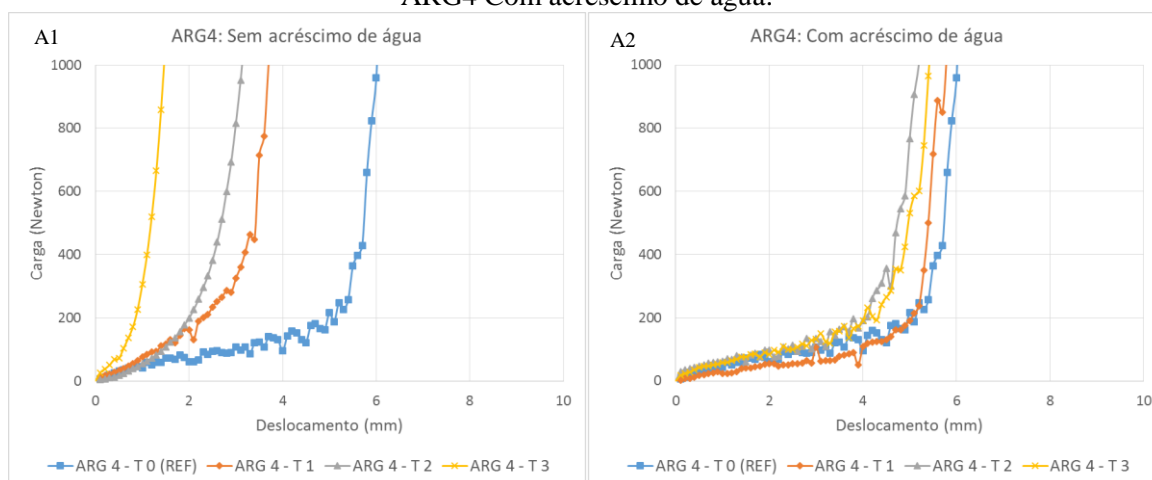
Figura 4.34: Curva de *squeeze-flow*. A1, argamassa ARG3 Sem acréscimo de água; A2, argamassa ARG2 Com acréscimo de água.



(O AUTOR)

A ARG4 apresentou grande perda de trabalhabilidade já na primeira hora, sendo necessário o acréscimo de água na argamassa. A Figura 4.35 A1, contém as curvas de *squeeze-flow* das argamassas sem acréscimo de água verifica-se que há uma grande diferença de deslocamento entre AR4-T0 e AR4-T3. O resultado da análise reológica após o acréscimo de água é visualizado na Figura 4.35 A2, o comparativo entre as curvas antes e após o acréscimo de água são grandes, contudo, ao analisar o teor de ar incorporado das argamassas há uma pequena diferença entre elas, indicando que o teor de ar incorporado pode não estar exercendo influência na reologia dessa argamassa mas, sim a água acrescentada.

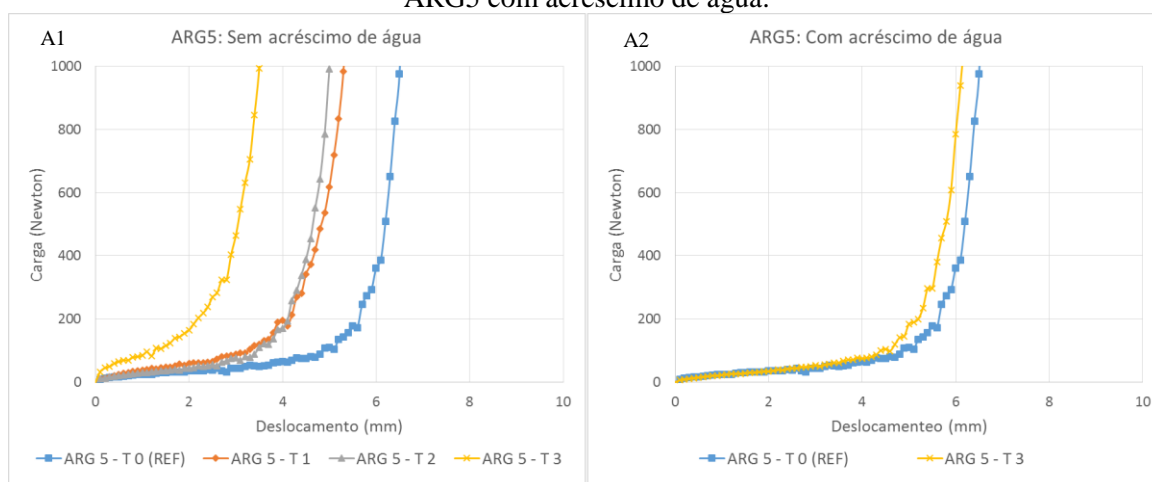
Figura 4.35: Curva de *squeeze-flow*. A1, argamassa ARG4 Sem acréscimo de água; A2, argamassa ARG4 Com acréscimo de água.



(O AUTOR)

Conforme solicitação do pedreiro, para a amostra ARG5, houve o acréscimo de água apenas com 3 horas após a mistura. A Figura 4.36 A1 indica que a perda no deslocamento em 1 mm não acarretou na solicitação do acréscimo de água pelo pedreiro. Para a ARG5-T3, com uma perda 3 mm no deslocamento, houve a necessidade de acréscimo de água de acordo com a sensibilidade do pedreiro. A Figura 4.36 A2 contém a curva com adição de água para T3, verifica-se que a sensibilidade do aplicador propiciou um comportamento reológico muito semelhante à mistura inicial, e além disso, os teores de ar incorporado de T0 para T3 com adição de água ficaram muito próximos 20,7% e 19,7% respectivamente.

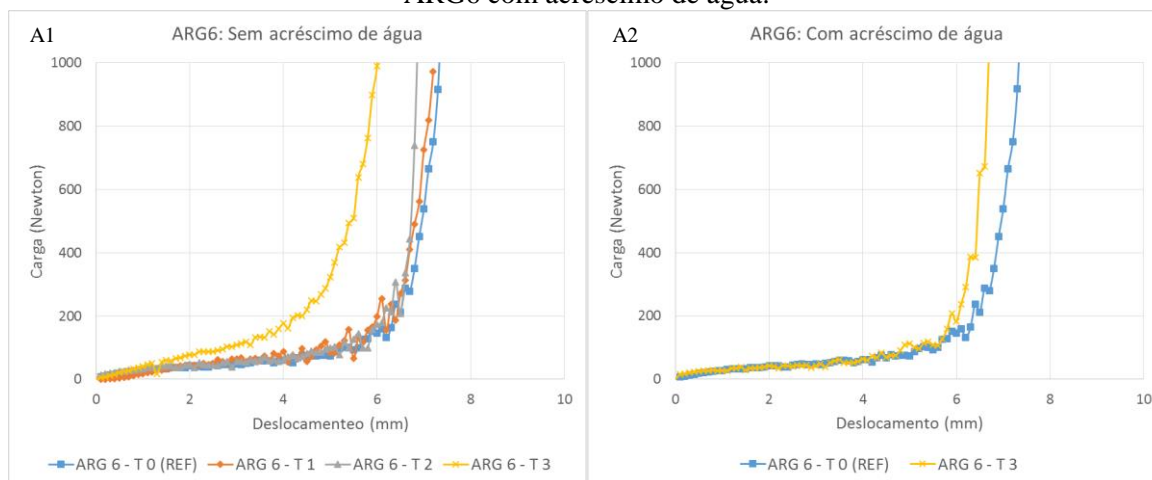
Figura 4.36: Curva de *squeeze-flow*. A1, argamassa ARG5 Sem acréscimo de água; A2, argamassa ARG5 com acréscimo de água.



(O AUTOR)

As curvas de *squeeze-flow* da amostra ARG6 estão expostas na Figura 4.37, nessa amostra o acréscimo de água foi necessário apenas com o tempo de 3 horas. O deslocamento visualizado na Figura 4.37 A1, demonstra que o comportamento reológico apresentou pequena perda para T1 e T2, a Figura 4.37 A2 contém duas uma T0 e outra T3 após o acréscimo de água, verifica-se que a sensibilidade do aplicador é comprovada pelo ensaio de *squeeze-flow*.

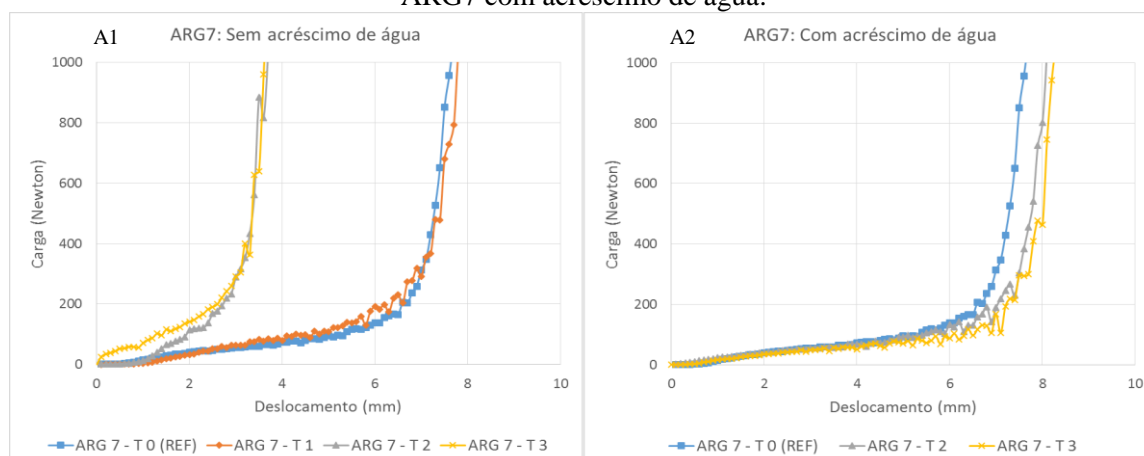
Figura 4.37: Curva de *squeeze-flow*. A1, argamassa ARG6 Sem acréscimo de água; A2, argamassa ARG6 com acréscimo de água.



(O AUTOR)

A Figura 4.38 A1, apresenta os resultados da argamassa ARG7 sem o acréscimo de água, verifica-se que para os tempos T2 e T3 cujo ar incorporado são de 21,3% e 20,4% respectivamente houve a necessidade do acréscimo de água, as curvas de deslocamento demonstram a perda de trabalhabilidade, mesmo com esses teores de ar incorporado, demonstrando nesse sistema o ar incorporado não é o único fator que influencia o comportamento reológico. A Figura 4.38 A2 contém as curvas após acréscimo de água, o deslocamento para T2 e T3 foram muito próximos de T0.

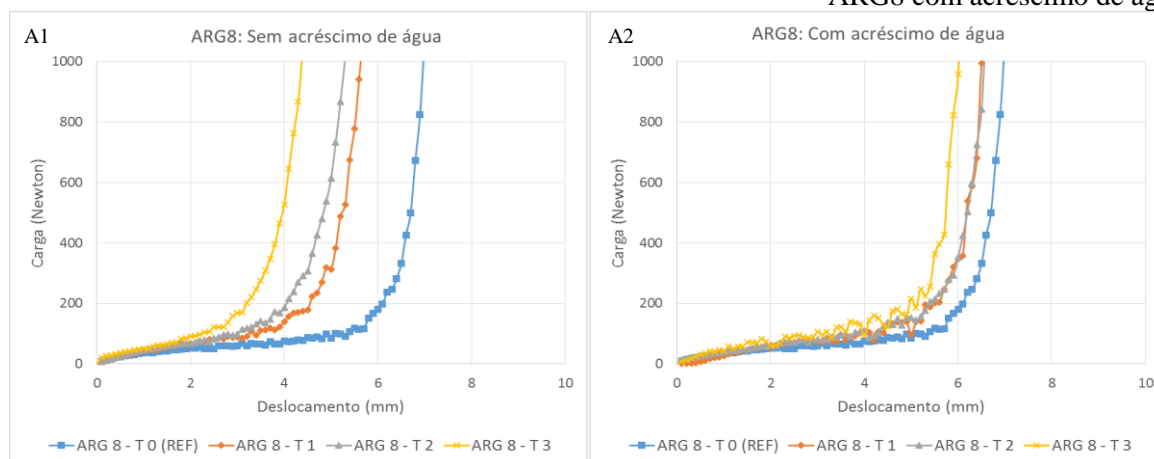
Figura 4.38: Curva de *squeeze-flow*. A1, argamassa ARG7 Sem acréscimo de água; A2, argamassa ARG7 com acréscimo de água.



(O AUTOR)

Os resultados do comportamento reológico da amostra ARG8 são apresentados na Figura 4.39. Os acréscimos de água ocorreram já a partir da primeira hora (Figura 4.39 A1), nessa suspensão já há grande correlação do teor de ar incorporado com a perda de trabalhabilidade, a medida em que a queda do ar incorporado as curvas de *squeeze-flow* tendem a se deslocar à esquerda. Após o acréscimo de água há um aumento do teor de ar incorporado das argamassas, contudo nenhum teor se aproxima ao teor de ar incorporado de T0, o mapeamento reológico demonstrado pelas as curvas de *squeeze-flow* indicam que após a adição de água as argamassas apresentam comportamento reológico muito semelhantes, nesse ponto há a influência do maior teor de água acrescentada a cada tempo.

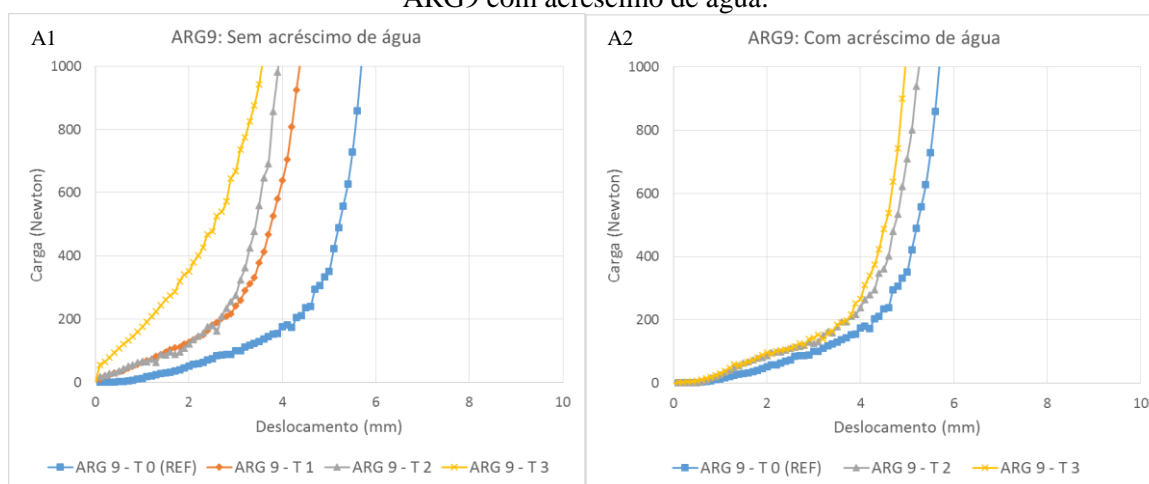
Figura 4.39: Curva de *squeeze-flow*. A1, argamassa ARG8 Sem acréscimo de água; A2, argamassa ARG8 com acréscimo de água.



(O AUTOR)

A argamassa ARG9, houve a necessidade de acréscimo de água para T2 e T3, a Figura 4.40 A1 apresenta as curvas de squeeze-flow sem acréscimo de água, as curvas ARG9-T1 e ARG9-T2 são muito similares, no entanto há uma diferença significativa no teor de ar incorporado 14,8% e 9,8% respectivamente. Reologicamente não há grandes diferenças, no entanto, já há diferenças no teor de ar incorporado. De acordo com a sensibilidade do pedreiro havia a necessidade de acréscimo de água para T2, contudo, não houve acréscimos de água para T1. A Figura 4.40 A2 contém as curvas com acréscimo de água, verifica-se que após o acréscimo de água as curvas de T2 e T3 aproximam-se da referência. A análise de trabalhabilidade da ARG9-T1 executada pelo pedreiro pode não estar correta, essa hipótese é levantada devido à proximidade das curvas reológicas de T1 e T2.

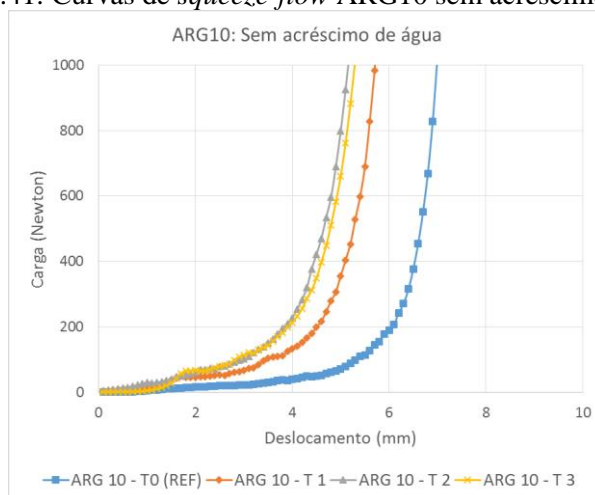
Figura 4.40: Curva de *squeeze-flow*. A1, argamassa ARG9 Sem acréscimo de água; A2, argamassa ARG9 com acréscimo de água.



(O AUTOR)

O ensaio de squeeze-flow executado nas amostras ARG10, são visualizadas na Figura 4.41, o deslocamento máximo foi de 5,6 mm para a argamassa de referência e mínima de 3,4 mm para as amostras T2 e T3. Da mesma forma que a ARG2, a ARG10 não houve a necessidade do acréscimo de água a diferença entre o deslocamento máximo e mínimo foi de 2,2 mm, mesmo apresentando essas diferenças no deslocamento.

Figura 4.41: Curvas de *squeeze-flow* ARG10 sem acréscimo de água.



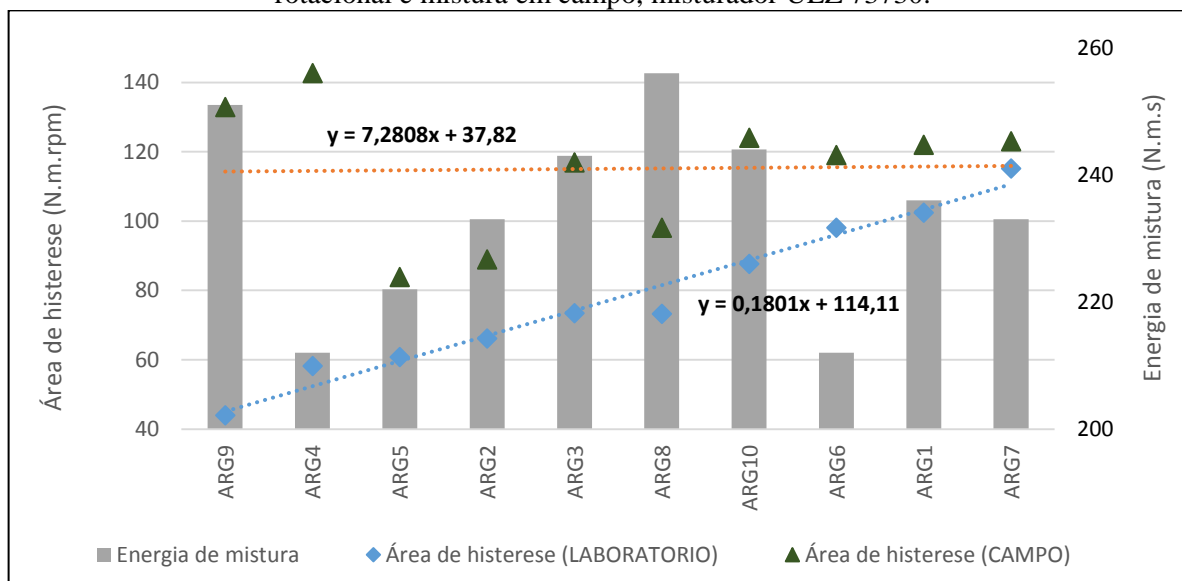
(O AUTOR)

A avaliação do tempo de utilização através do ensaio de squeeze flow verificou que, a percepção do pedreiro quanto a trabalhabilidade da argamassa pode ser medida pelo ensaio, é possível mensurar um delta de aproximadamente 2mm de deslocamento máximo para as argamassas, a carga para esse deslocamento está entre 100 Newtons e 150 Newtons. Além dos pontos já citados, é possível inferir que 40% das argamassas atendem ao tempo de utilização recomendado pelo fabricante.

4.6.1.3. – Análise do comportamento reológico pela reometria rotacional

A análise de ciclo de cisalhamento das argamassas para aplicação em campo foi realizada logo após a mistura inicial. A Figura 4.42 apresenta um comparativo entre as áreas de histerese entre as argamassas misturadas com no reômetro rotacional (Figura 2.13) em laboratório, e misturada no misturador planetário de eixo vertical UEZ 73730, o gráfico também informa a energia de mistura para cada argamassa. Os dados foram ordenados a partir da menor para a maior área de histerese, mensurada em laboratório. A análise dos dados possibilita concluir que as misturas realizadas para aplicação em campo apresentam um aumento na área de histerese indicando que a energia empregada para a dissipação dos aglomerados pode ter sido insuficiente. Já era esperado que a mistura realizada no reômetro apresentasse menor área de histerese quando comparado com a mistura realizada em campo, visto que a geometria da raquete de mistura que disponibiliza as aletas de mistura em espiral do reômetro rotacional possibilitam uma maior homogeneização da mistura.

Figura 4.42: Comparativo das áreas de histerese entre as argamassas misturada pelo reômetro rotacional e mistura em campo, misturador UEZ 73730.



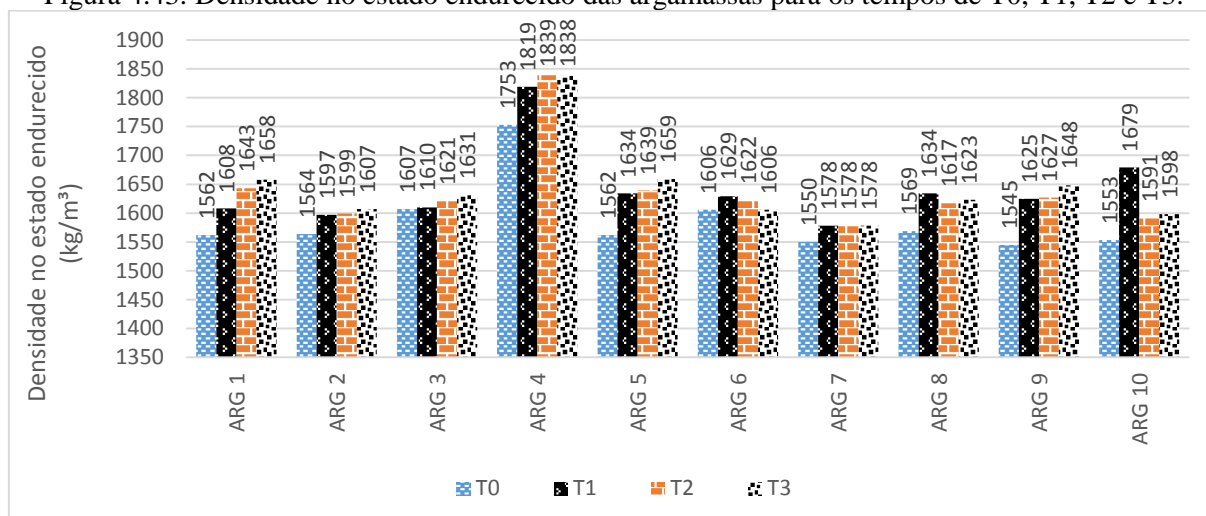
(O AUTOR)

4.6.2. Aplicação em campo – estado endurecido da argamassa

As análises no estado endurecido para as argamassas aplicadas em campo concentraram-se nas análises de resistência à flexão e compressão, densidade no estado endurecido, módulo de elasticidade e resistência de aderência à tração.

A Figura 4.43, contém os resultados de densidade no estado endurecido das argamassas nos tempos de T0 a T3. Entende-se que para o mesmo sistema, o acréscimo de água impactará em maior índice de vazios deixados pela água evaporada podendo impactar em uma menor densidade no estado endurecido. Contudo, observou-se que o acréscimo de água nas argamassas não impactou significativamente na redução da densidade no estado endurecido. Ao correlacionar os resultados apresentados na Figura 4.43 com os resultados da Figura 4.25, apresentado anteriormente, verifica-se que há uma tendência do aumento de densidade no estado endurecido devido ao aumento da densidade no estado a fresco e consequentemente do menor teor de ar incorporado.

Figura 4.43: Densidade no estado endurecido das argamassas para os tempos de T0, T1, T2 e T3.

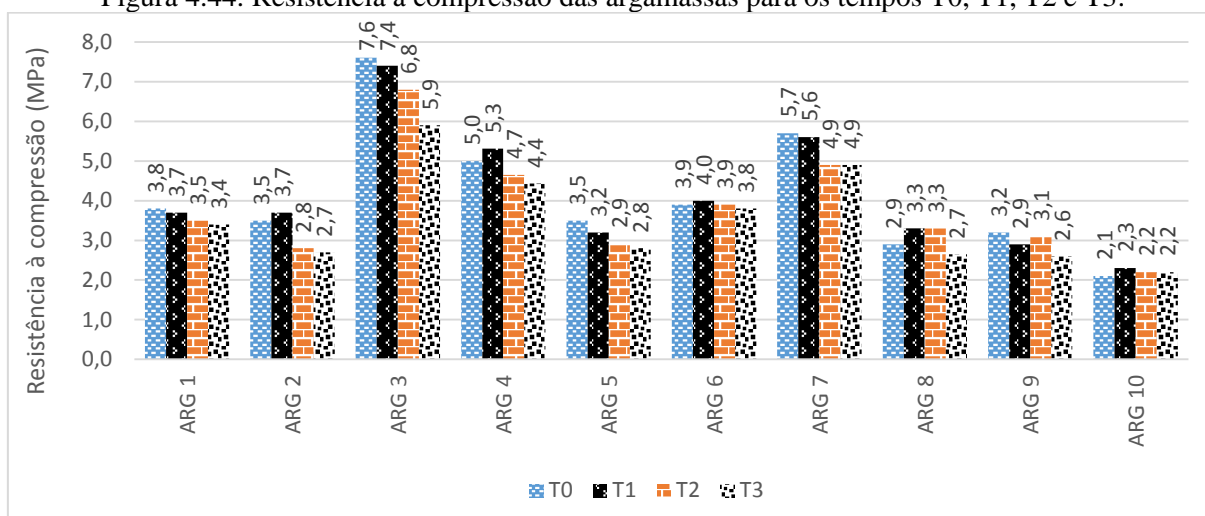


(O AUTOR)

O acréscimo de água em função do tempo altera a relação água / aglomerante. Sabe-se o aumento dessa relação pode influenciar em negativamente causando queda de resistência das argamassas. A análise da resistência à compressão visualizada na Figura 4.44, demonstra queda na resistência à compressão das argamassas em função do acréscimo de água. Verificou-se que a medida em que se prolonga a utilização da argamassa há a maior evaporação de água e consequentemente maior acréscimo de água afetando à resistência à compressão da argamassa, porém, a queda de resistência também pode estar relacionada à cinética de hidratação do cimento. Durante o experimento não foi necessário o acréscimo de água em duas argamassas. As amostras ARG2 e ARG10, não apresentaram acréscimo de água durante o período analisado. Para a argamassa ARG2 há um pequeno aumento em T1, no entanto a partir de T2 a argamassa já apresenta queda na resistência mantendo-se em T3. A ARG10, também apresenta um pequeno aumento em T1, o qual se mantém para os tempos T2 e T3.

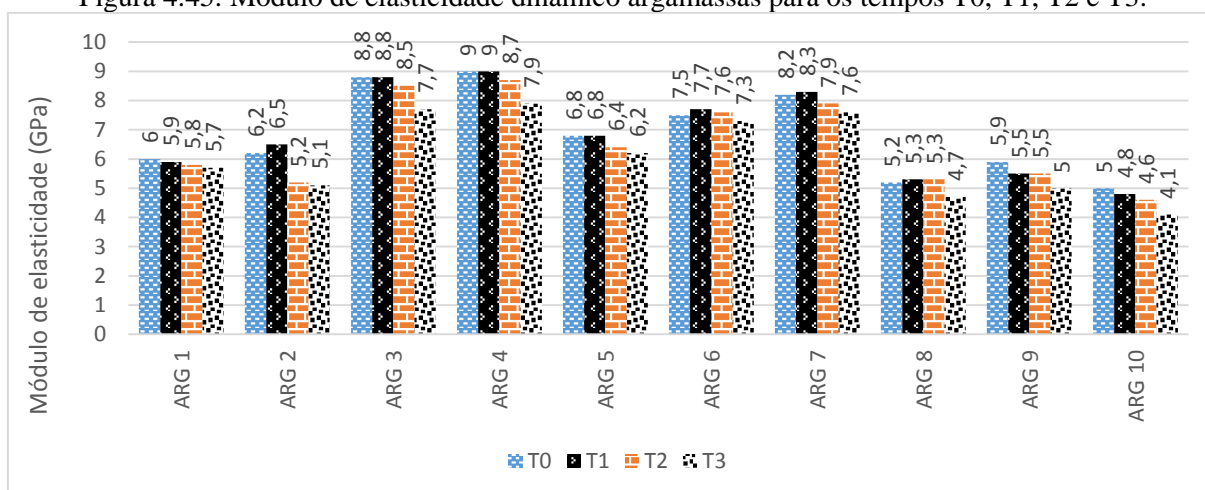
Os resultados obtidos à compressão são confirmados a partir dos resultados de módulo de elasticidade. A Figura 4.45, contém os resultados de módulo de elasticidade para as argamassas moldadas com acréscimo de água. Em comparação com a Figura 4.44 chama a atenção os resultados de módulo de elasticidade da argamassa ARG4, enquanto o módulo de elasticidade apresentou valores altos, próximos de 9 GPa, a resistência à compressão apresentou um resultado próximos de 5,0 MPa. Essa diferença pode ser proveniente do tipo do material utilizado, do grau de empacotamento de partículas da engenharia aplicada no desenvolvimento dessa argamassa.

Figura 4.44: Resistência à compressão das argamassas para os tempos T0, T1, T2 e T3.



(O AUTOR)

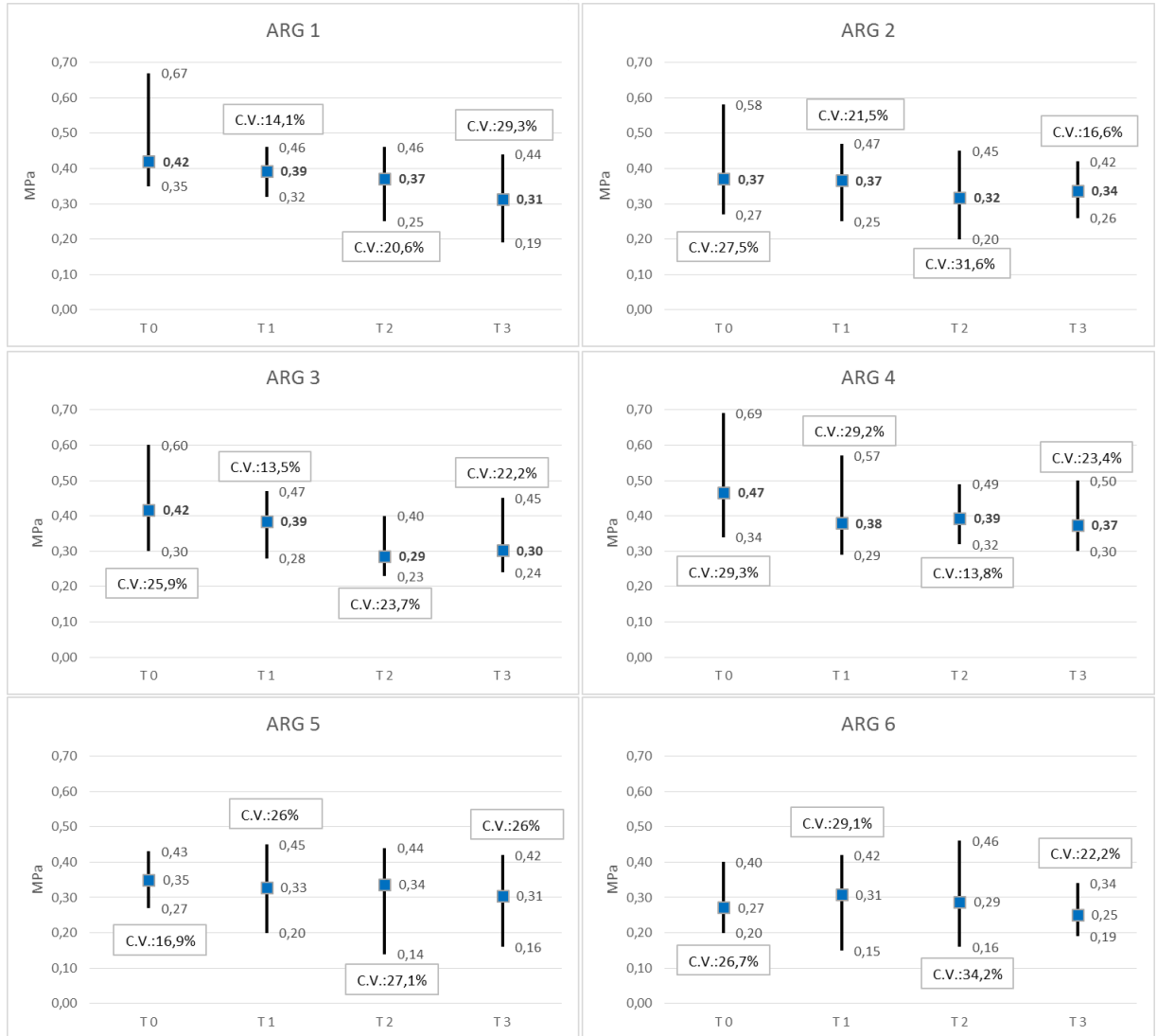
Figura 4.45: Módulo de elasticidade dinâmico argamassas para os tempos T0, T1, T2 e T3.



(O AUTOR)

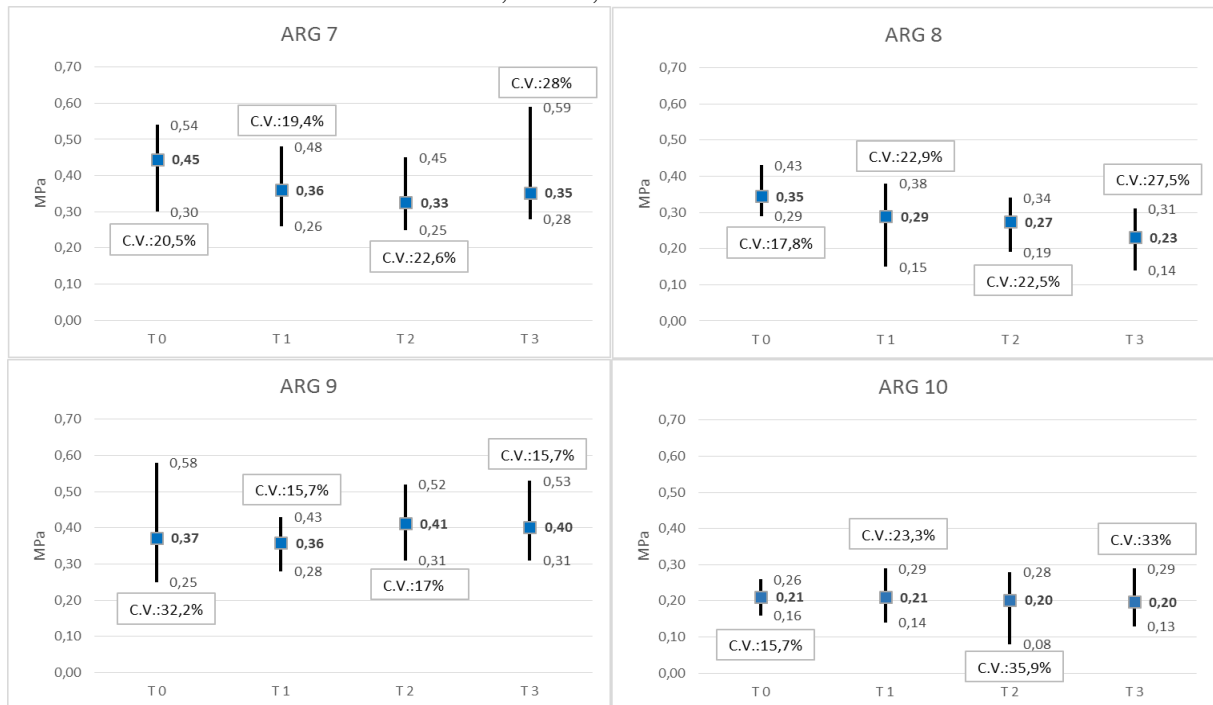
O ensaio de aderência à tração é uma análise que contém muito peso na aprovação de um revestimento. Inerente à essa análise há muitas variáveis que influencia no resultado do ensaio, dentre elas destacam-se, a limpeza do substrato, o processo de mistura da argamassa, o comportamento reológico, e o fator humano. A Figura 4.46 apresenta os resultados de aderência das argamassas ARG1 à ARG6, e a Figura 4.47 contém os resultados das ARG7 à ARG10.

Figura 4.46: Resistência de aderência para os tempos T1, T2 e T3, para as argamassas, ARG1, ARG2, ARG3 e ARG4, ARG5 e ARG6..



(O AUTOR)

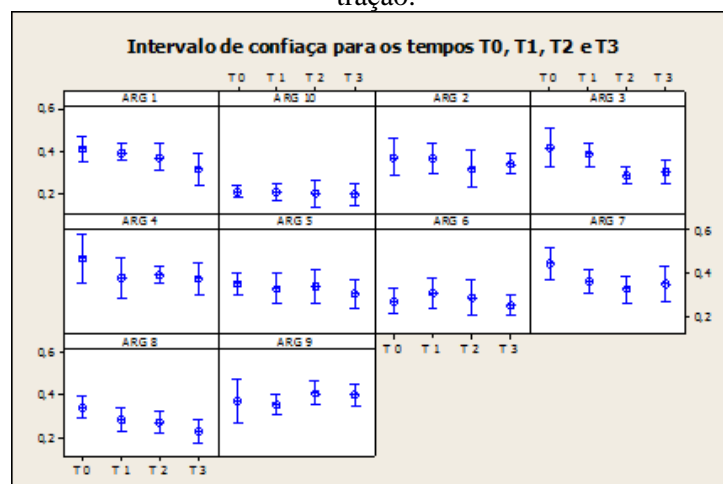
Figura 4.47: Resistência de aderência para os tempos T1, T2 e T3, para as argamassas, ARG5, ARG6, ARG7, ARG8, ARG9e ARG10.



(O AUTOR)

Os resultados foram analisados estatisticamente através do intervalo de confiança. A Figura 4.48 apresenta os resultados de aderência das argamassas com o intervalo de confiança para cada tempo. A análise do intervalo de confiança indica que as variáveis do tempo e acréscimo de água não influenciaram estatisticamente no resultado de aderência à tração das argamassas.

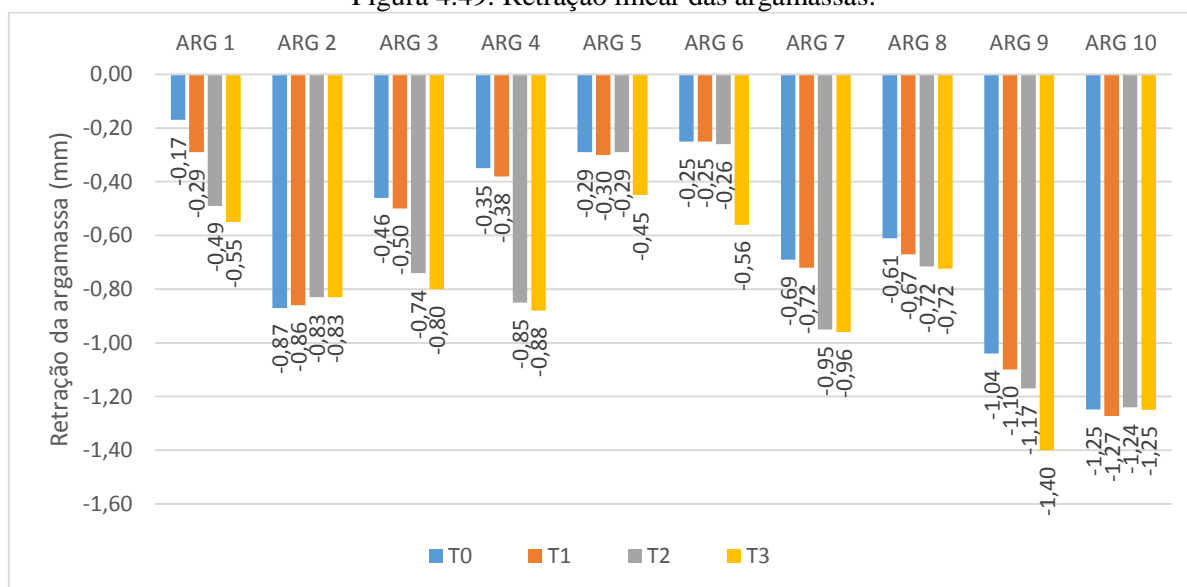
Figura 4.48: Análise estatística do intervalo de confiança do ensaio de resistência de aderência à tração.



(O AUTOR)

A Figura 4.49 traz os resultados das dez argamassas analisadas quanto à retração. As argamassas ARG2 e ARG10 apresentaram pouca variação entre as amostras coletadas em T0 e T3, essas argamassas também foram as únicas argamassas que não houve a necessidade de acrescentar água durante o período de análises. Através do gráfico fica claro o aumento da retração em função do tempo de utilização da argamassa ARG5 e ARG6, que apresentam aumento significativo na retração a partir do acréscimo da argamassa ocorrido a partir de T2. Para as argamassas ARG1, ARG3, ARG4, ARG7, ARG8, e ARG9 houve o acréscimo de água a partir de T1. As maiores retrações foram encontradas para as argamassas ARG9 e ARG10 e, ao analisar os tores de finos das argamassas, acreditava-se que as argamassas compostas pelos agregados calcários apresentariam as maiores retrações, isso porque as argamassas compostas por agregado calcário apresentaram os maiores teores de finos. O teor de água utilizada na mistura inicial pode ser um indicativo de maiores retrações, a Figura 4.2 apresentada anteriormente no item 4.2 contém os teores de água das argamassas, e ao correlacionar os teores de água com a retração da argamassa verifica-se que as argamassas ARG9 e ARG10 utilizaram os maiores teores de água.

Figura 4.49: Retração linear das argamassas.



(O AUTOR)

5. CONCLUSÕES

A reologia das argamassas de revestimento é um sistema multifásico complexo que pode ser afetado por uma série de fatores. A interferência do acréscimo de água durante a sua utilização foi estudada nesse trabalho, e as seguintes considerações são colocadas:

- há no mercado brasileiro argamassas com a mesma utilização, contudo, com classificações de acordo com a ABNT NBR 13281 muito diferentes, com características distintas inerentes ao tipo de agregado, aditivo utilizado e composição granulométrica;
- a respeito dos teores de água a serem adicionados na mistura inicial da argamassa, indicados pelos fabricantes, apenas uma argamassa não respeitou a indicação impressa na sacaria. A ARG9, ao utilizar a faixa indicada pelo fabricante, aparentava uma argamassa de chapisco e não uma argamassa de revestimento. Teve-se que reduzir o percentual de adição de água para que a argamassa fosse aplicada como revestimento;
- o tempo de utilização máximo, de acordo com as informações da sacaria, são de duas horas contadas a partir da mistura inicial, e 40% das argamassas ao ser submetida a avaliação do pedreiro foram consideradas adequadas para a aplicação;
- a evaporação da água da argamassa, ocorrida no tempo prolongado de três horas de utilização, acarretou na perda de plasticidade e alteração no comportamento reológico da argamassa. Para esse período apenas duas argamassas, ARG2 e ARG7, não necessitaram de acréscimo de água para que a argamassa retomasse a trabalhabilidade inicial, indicando que essas argamassas apresentam um bom desempenho no estado fresco;
- as argamassas ARG1; ARG3, ARG4 e ARG8 apresentaram o maior acréscimo de água cerca de 1,5% em média. Verifica-se que esse grupo de argamassa é composto pelo agregado calcário e que a mineralogia do agregado pode influenciar nesse fator;
- os resultados provenientes do ensaio de squeeze-flow, sem o acréscimo de água, demonstram que todas as argamassas apresentam a mesma tendência de comportamento reológico em função do tempo, ocorrendo um deslocamento da curva em direção à origem indicando uma perda de trabalhabilidade da argamassa;
- as argamassas compostas pelo agregado calcário (ARG1; ARG3, ARG4 e ARG8) apresentaram maiores energia de mistura, outro fator que pode ter influenciado a maior energia de mistura para essas argamassas são os teores de finos cujos maiores valores foram encontrados nessas argamassas;

- o acréscimo de água executado de acordo com a solicitação do pedreiro foi feito com o objetivo de aproximar-se da trabalhabilidade inicial através da dispersão de partículas proporcionada pela água. A percepção do pedreiro foi comparada com o método de squeeze-flow e a correlação encontrada foi de que o deslocamento máximo das argamassas é de aproximadamente 2mm para cargas entre 100 e 150 Newtons;
- as amostras ARG1, ARG3, ARG4, ARG5, ARG6, ARG7, ARG8 e ARG9 necessitaram em média de 1,31% de acréscimo de água visando a extensão do tempo de utilização, esse acréscimo impactou negativamente nas resistências à compressão. Os resultados das argamassas com acréscimo de água caíram em média 1,6 MPa. A variação dimensional das argamassas apresentou um aumento de retração de aproximadamente -0,36 mm/m.
- as argamassas ARG2 e ARG10 não necessitaram de acréscimo de água. A análise do resultado à compressão apresentou queda de aproximadamente 0,7 MPa. A variação dimensional dessas argamassas foram praticamente “zero” durante esse período.
- cada argamassa analisada foi desenvolvida de acordo com mineralogia dos agregados. Argamassas com agregados calcário tendem a apresentar maior teores de finos, enquanto que argamassas com agregados de quartzo tendem a apresentar menor teores de finos.
- de modo geral as argamassas apresentaram desempenho satisfatório quanto à resistência de aderência. A análise do intervalo de confiança do ensaio de aderência à tração em função do tempo indica que os resultados encontram-se na mesma variação.

6. INDICAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base nos resultados obtidos com o programa experimental e com as limitações desta pesquisa sugere-se como trabalhos futuros:

- estudo da influência do empacotamento no comportamento reológico durante o tempo de utilização das argamassas;
- estudo da influência do tipo do agregado no comportamento reológico durante o tempo de utilização das argamassas;
- estudo da influência da cinética de hidratação do cimento no comportamento reológico da argamassa.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABAI, Associação Brasileira de Argamassas Industrializadas. **Distribuição de consumo de argamassa industrializada no Brasil**. 2015. Disponível em: <http://abai.org.br/mercados/>. Acesso em 14/05/2016.
- ACI 116R-78. **Cement and Concrete Terminology**, ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, ACI Committee 116, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2005.
- ALMEIDA JR, H.; LOPES, I. J.; MARTINS, J. M.; SABBATINI, F. H. **Avaliação das características de revestimentos produzidos com argamassa industrializadas**. I Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassa. Goiânia, 1995.
- ALVES, N. J. D. **Avaliação dos aditivos incorporadores de ar em argamassas de revestimentos**. Brasília, 2002, p. 199. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília.
- ANJOS, M. A. S. **Adição do resíduo de biomassa de cana de açúcar em pastas para cimentação de poços petrolíferos de óleos pesados**. Tese de doutorado em Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2009.
- ANTUNES, R. P. N.; GRASSI, R.; PIRES SOBRINHO, C. W. de A. **Estudo das propriedades das argamassas no estado fresco utilizadas na região Metropolitana de Recife**. In. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2º, Salvador, 17 e 18 de abril de 1997. Anais. Salvador, CETA/ANTAC, 1997 p. 173-184.
- ANTUNES, R. P. N. **Influência da reologia e da energia de impacto na resistência de aderência de revestimentos de argamassa**. São Paulo, 2005. P. 247. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13529, **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânica - Terminologia**. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13279, **Determinação de Resistência à Tração na Flexão e a Compressão**. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13280, **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido**. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15630 – **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica**. Rio de Janeiro 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040: **Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura**. Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO. NM 23 – **Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 2000.

BARBOSA, W. S. **Alteração do Comportamento Reológico da Suspensão Cimentícia Aplicada Sobre Substratos Porosos**. São Paulo, 2010. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

BANFILL, P. F. G.; **The rheology of fresh cement and concrete – A Review**. In: 11th Internacional Cement Chemistry Congress, Durban, may 2003.

BANFILL, P. F. G.; **The rheology of fresh mortar – A Review**. VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Florianópolis 2005.

BASTOS, P. K. X.; NAKAKURA, E. H.; CINCOTTO, M. A. **Comparação da retração de argamassas industrializadas e mistas de revestimento nos estados fresco e endurecido**. Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, VI. *Anais*. Florianópolis 2005.

BASTOS, P. K. X. **Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas de argamassas mistas de revestimento**. São Paulo, 2001, p.172. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo.

BETIOLI, A. M. **Influência do Polímeros MHEC e EVA na hidratação e comportamento reológico de pastas de cimento Portland**. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, 2007, Florianópolis, p 211.

BRETAS, R. E. S.; D ÁVILA, M. A. **Reologia de polímeros fundidos**. São Carlos/SP: Editora da UFSCar, 2000. 196p.

BROCKEN, H. J. P.; SPIEKMAN, M. E.; PEL, L.; KOPINGA, K.; LARBI, J. A. **Water extraction out of mortar during brick laying: A NMR study**. Materials and Structures / Matériaux et Construction 31, 49 – 57 (1998).

CARDOSO, F.A.; CAMPORA, F. L.; PILEGGI, R. G.; JOHN, V.M. **Caracterização Reológica de Argamassas Pelo Método de Squeeze Flow**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, VI. Florianópolis: *Anais*, 2005. pg 121-143.

CARDOSO, F.A.; CAMPORA, F. L.; PILEGGI, R. G.; JOHN, V.M. **Caracterização Reológica de Argamassas do Mercado por Squeeze Flow**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, VII. Recife: *Anais*, 2007a.

CARDOSO, F.A. **Método de formulação de argamassas de revestimento baseado em distribuição granulométrica e comportamento reológico**. São Paulo, 2009. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

CASALI, J. M.; WEIDMANN, D. F.; ANSELMO Jr., A.; PRUDÊNCIO Jr., L. R. **Efeito da incorporação de ar nas propriedades de uma argamassa industrializada para assentamento de blocos de concreto para alvenaria estrutural**. São Paulo, 2003. V Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas

CASALI, J. M. **Avaliação das propriedades do estado fresco e endurecido da argamassa estabilizada para revestimento**. Belo Horizonte, 2011. IX Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas

CAZACLIU, B; ROQUET, N. **Concrete mixing kinetics by means of power measurement**. Cement and Concrete Research, v. 39, p. 182 - 194, 2009.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A.C.; CARASEK, H. **Argamassas de revestimento: Características, propriedades e métodos de ensaios**. Boletim 68 IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 1995. 118p.

CORTEZ, I. M. M. **Contribuição ao estudo dos sistemas de revestimento com incorporação de fibras sintéticas**. Brasília, 1999. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília.

COSTA, M. R. M. M. **Análise comparativa de argamassas colantes de mercado através de parâmetros reológicos**. São Paulo, 2007. 148p. Tese em Engenharia - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

COSTA, E. B. C. **Análise de parâmetros influentes na aderência de matrizes cimentícias**. São Paulo, 2014, p. 206. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo.

DAVISON, J. L. **Loss of moisture from fresh mortar to bricks**. Material research & Standards, 1,5, (1961), p. 385-388.

DESHPANDE, K. V.; SHAPLEY, N. C. **Particle migration in oscillatory torsional flows of concentrated suspensions**. Journal of Rheology, v. 54(3), p. 663 – 686, 2010.

DÉTRICHÉ, C.H.; MASO J. C. **Differential hydration in rendering mortars**. Cement and concrete research, 16, (1986), p. 429 – 439.

DE SCHUTTER, G.; POPPE, A. M. **Quantification of the water demand of sand in mortar**. Construction and Building Materials, V. 18, n. 7, p. 517 – 521. Acesso em: 20/04/2013.

DU, L., FOLLIARD, K. J. **Mechanisms of air entrainment in concrete**. Cement and Concrete Research, 35 (2005) 1463 – 1471.

ENGMANN, J.; SERVAIS, C.; BURBIDGE, A. S. **Squeeze flow theory and applications: A review**. Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, v. 132, p. 1 – 27, 2005.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Produtividade da Construção Civil 2015**. Disponível em: <http://www.fiesp.com.br/observatoriodaconstrucao/noticias/baixa-produtividade-da-construcao-compromete-remuneracao-do-trabalho/>. Acesso em: 14/05/2016.

FENNIS, S. A. A. M.; WALRAVEN, J. C.; UIJIL, J. A. **Compaction interration packing model: regarding the effect of fillers in concrete mixture desing**. Material Structures 46 (2013) 463 – 478.

FRANÇA, M. S. **Comportamento de mistura de sistemas cimentícios multifásicos reativos**. São Paulo 2013. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

FREITAS, C., **Desempenho de argamassas de revestimento a partir de areias artificiais da região metropolitana de Curitiba**. Curitiba 2010. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná.

FUKUI, E., TANABE, A., SILVA, I. J., PILEGGI, R. G., JOHN, V. M. **CO2 liberado na produção de argamassas**. X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassa. Fortaleza, 2013.

FUKUI, E., BARBOSA, W. **Avaliação da influência do tempo de utilização e da adição de água na argamassa industrializada**. XI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassa. Porto Alegre, 2015.

GAMA, A., C., A., J. CARASEK, H. BRANDSTETTER C., G., O. **Avaliação do ciclo de vida como ferramenta para análise comparativa entre argamassas preparada em obra e industrializada**. X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassa. Fortaleza, 2013.

GLATTHOR, A.; SCHWEIZER, D. **Rheological Lab Testing of Building Formulations**. 1994. Disponível em: <http://www.baustoffchemie.de/en/rheology/>. Acesso em: 09/02/2015.

GLATTHOR, A.; SCHWEIZER, D. **Rheological Lab Testing of Building Formulations**. ConChem Conference, Düsseldorf, 1994, <http://www.baustoffchemie.de/en/rheology>, Acesso em: 05/03/2015.

GUTOWSKI, W. S. A. **Thermodynamic Model of the Adhesive Bond**. The Journal of Adhesion 22, 183-196 (1987).

HAN, D.; LEE, G. C.; YONN, S. J.; KIM, M. K. **Viscosity influence on rising behavior air bubbles in fresh mortar**. Construction and Building Materials, Volume 76, 1 February 2015, Pages 10-15.

IPCC Intergovernmental Painel on Climate Change. **Climate Chance 2007: Mitigation of Climate Change**. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Reino Unido e Nova York: Cambridge University Press, 2007. 851p. Disponível em: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/ch7s7-4-5.html. Acesso em 14/05/2012.

JENNI, A.; HOLZER, L.; ZURBRIGGEN, R.; HERWEGH, M. **Influence of polymers on microstructure and adhesive strength of cementitious tile adhesive mortars**. Cement and concrete Research 35, 35 – 50 (2005).

JOHN, V. M.; **Repensando o papel da cal hidratada nas argamassas**. V Simpósio Brasileiro de Tecnologia em Argamassa, São Paulo. 2003.

JORNAL G1. **Revestimento de prédio cai sobre banco e deixa nove feridos em Praia Grande**. g1.globo.com/.../revestimento-de-predio-desaba-atinge-banco-e-deixa-pessoas-feridas-em-sp.html, Acesso em: 14/05/2016.

KLEIN, N. S. **The physical role of water in Portland cement mixtures**. Barcelona, 2012, Tese (PhD) – University Politenic of Catalunya.

KLEIN, N. S. AGUADO, B. M. TORALLES-CARBONARI, L. V. **Real, Prediction of the water absorption by aggregates over time: modeling through the use of value function and experimental validation.** Construction and Building Materials. (2014)

KLEIN, N. S.; CAVALARO, S.; AGUADO, A.; SEGURA, I.; TORALLES, B. **The wetting water in cement-based materials: Modeling and experimental validation.** Construction and Building Materials, Volume 121, September 2016, Pages 34-43.

KORMANN, A. C. M.; **Estudo do desempenho de quatro tipos de materiais para reparo a serem utilizados em superfícies erodidas de concreto de barragens.** Curitiba. 2002. 213 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná.

LATORRE, P. E. V., **Estudo de argamassas para reparos de estruturas de concreto sujeitas à abrasão, em locais com umidade elevada.** Curitiba. 2002. 96 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná.

MACIEL, L. L. N. **O projeto e a tecnologia construtiva na produção dos revestimentos de argamassa de fachada.** São Paulo, 1997. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

MALKIN, A. Y. **Rheology Fundamentals.** Chem Tec Publishing, 1994. Canada, 308p.

COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO, **Manual de revestimentos de argamassa.** Disponível em: <http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/279/anexo/ativosmanu.pdf>

MANUEL, P. J. M. **Estudo da influência do teor de argamassa no desempenho de concretos auto-adensáveis.** Porto Alegre, 2005. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MASO, J. C. **Influence of the interfacial transition zone on composite mechanical properties.** In: Interfacial Transition Zone in Concrete. Edited: J. C. Maso (1996).

MATTANA, A.J., **Estudos de cales hidratadas de mercado-caracterização química, física e comportamento reológico da pasta.** Curitiba 2013. 148p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná.

MIDORIKAWA, T.; PELOVA, G. I.; WALRAVEN, J. C.; **Aplication of “The water layer model” to self-compacting mortar with diferente size distributions of fine aggregate.** Heron 54 2/3 (2009).

MORENO JUNIOR, R; SELMO, S. M. de S. **Aderência de argamassas de reparo de estruturas de concreto.** Boletim técnico da escola politecnica da Universidade de São Paulo - USP. São Paulo, 2007.

NAKAKURA, E. H.; BUCHER, H. R. E. **Pisos Auto-nivelantes. Propriedades e Instalações.** Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, II. *Anais...* Salvador, 1997

OLIVEIRA, F. A. L., **Argamassa Industrializada: Vantagens e Desvantagens**. 2006. 42p. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil) – Universidade Anhembí Morumbi São Paulo

OLIVEIRA, I. R.; STUDART, A. R.; PILEGGI, R. G.; PANDONFELLI, V. C. **Dispersão e empacotamento de partículas – princípios e aplicações em processamento cerâmico**. Fazendo Arte Editorial, 2000. 195p.

PAES, I. N. L. **Avaliação do transporte de água em revestimentos de argamassa nos momentos iniciais pós-aplicação**. Brasília, (2004). Tese (Doutorado) – Universidade de Brasília.

PAPO, A.; PIANI, L. **Effect of various superplasticizers on the rheological properties of Portland cement paste**. Cement and Concrete Research 34 (2004), p 2097 – 2101.

PATURAL, L.; MARCHAL, P.; GOVIN, A.; GROSSEAU, P.; ROUT, B.; DEVÈS, O. **Cellulose ethers influence on water retention and consistency in cement-based mortars**. Cement and Concrete Research. v. 41, p. 46-55, 2011.

PERREIRA, E., **Estudo da Influência das propriedades de argamassas colantes na resistência de aderência de revestimentos cerâmicos aplicados no assentamento de piso sobre piso**. Curitiba 2012. 178p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná.

PILEGGI, R. G. **Ferramentas para o Estudo e Desenvolvimento de Concretos Refratários**. São Carlos, 2001. 187p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de São Carlos.

PILEGGI, R. G. **Efeito da distribuição granulométrica sobre o comportamento reológico de concretos refratários**. São Carlos, 1996. 210p. Tese de Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos.

PÓVOAS Y. V., **Influência da perda de água por evaporação na resistência de aderência entre argamassa colante e placa cerâmica**. v.2, n.2, p. 7-18, abr./jun. 2002. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

POURCHEZ, J. **Aspects physico-chimiques de l'interaction des éthers de cellulose avec la matrice cimentaire**. 2006. 302 f. These (Doutorado) – École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne, Saint-Étienne, 2006.

POURCHEZ, J.; ROUT, B.; DEBAYLE, J.; POURCHEZ, E.; GROSSEAU, P. **Some aspects of cellulose ethers influence on water transport and porous structure of cement-based materials**. Cement and Concrete Research. v. 40, p. 242-252, 2010.

PRUDÊNCIO JR, L.R; OLIVEIRA, A. L; BEDIN, C. A. **Alvenaria Estrutural de Blocos de Concreto**. Florianópolis/SC 2003.

RAMACHANDRAN, A.; LEIGHTON, D. T. Jr. **Particle migration in concentrated suspensions undergoing squeeze flow**. Journal of Rheology, v. 54(3), p. 563 – 589, 2010.

ROMANO, F. N., PEREIRA, G. O. A., **Patologia do revestimento externo em argamassa em edifícios**. 2011. 107p. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil) – Universidade Anhembi Morumbi São Paulo.

ROMANO, R. C. O. **Incorporação de ar em materiais cimentícios aplicados em construção civil**. São Paulo, 2013, p. 227. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo.

SAMMAN, T. A.; MIRZA, W. H.; Wafa, F. F. **Plastic shrinkage cracking of normal and high-strength concrete: a comparative study**. ACI Material Journal, v. 93, n. 1, pp 36 – 40, January – February, 1996.

SANTOS, L.D., **Sistema de Revestimento com argamassa industrializada**. Revista Pensar Engenharia, v.2, n.2, Jul./2014

SCRIVENER, K. L. **The Microstructure of Concrete**. In: Materials Science of Concrete I. The American Ceramic Society, Inc. Westerville, 1989.

SELMO, S. M. S. **Dosagem de Argamassa de Cimento Portland e cal para Revestimento Externo de Fachada de Edifícios**. São Paulo, 1989. 187p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

SILVA, C. O.; NAKAKURA, E. H. **A utilização de revestimento em obra de pequeno porte – estudo de caso de argamassa preparada em obra x argamassa industrializada**. IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassa. Brasília, 2001.

SINGH, S. B.; MUNJAL, P.; THAMMISHETTI, N. **Role of water/cement ratio on strength development of cement mortar**. Journal of Building Engineering, Volume 4, December 2015, Pages 94-100.

STEFFE, J.F. **Rheological Methods In Food Process Engineering**. Freeman Press, 1996. Second Edition, USA, 428p.

STOLZ, C. M. **Influência da interação entre parâmetros reológicos de argamassas e a área potencial de contato de substratos na aderência de argamassas de revestimento**. Dissertação de mestrado. Universidade federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Porto Alegre, 2011.

STRUBLE, L. J.; JI, X.: **9 - Rheology**. Handbook of Analytical Techniques in Concrete Science and Technology. Noyes Publications. USA, pg 333-367. SCHRAMM G. **Reologia e Reometria**. 2006.

TATTERSALL, G. H.; BANFILL, P. F.G. **The rheology of fresh concrete**. London: Pitman, 1983. 347p.

WU, S. **Polymer interface and adhesion**. M Dekker: New York, 1982.

YANG, M.; JENNINGS, H. M. **Influences of Mixing Methods on the Microstructure and Rheological Behavior of Cement Paste**. Advanced Cement Based Materials, v. 2, p. 70-78, 1995.

YOSHIDA, A. T.; BARROS, M. M. S. B. **Caracterização de argamassa nos estado fresco. Peculiaridades na análise de argamassas industrializadas.** I Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassa. Goiânia, 1995.

ZHU, Y.; MA, B.; LI, X.; HU, D. **Ultra high early strength self-compacting mortar based on sulfoaluminate cement and silica fume.** Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed, oct. 2013.

CORTES, D. D.; KIM, H K.; PALOMINO, A M.; SANTAMARINA, J. C. **Rheological and mechanical propertie of mortars prepared with natural and manufactured sands.** Cement an Concrete Research, 38, p. 1142-47, 2008.

QUIROGA, P. N.; FOWLER, D. W. **The Effects of Aggregates Characteristics o The Performance of Portland Cement Concrete.** Research Report ICAR – 104-1F International Cnter for Aggregates Reserch. The University of Texas at Austin. 2004.

8. APÊNDICE

8.1. APÊNDICE I

Difratograma dos agregados utilizados nas argamassas.

Figura 8.1: Difração de raio – X, ARG 1. Argamassa composta por agregado de origem calcária.

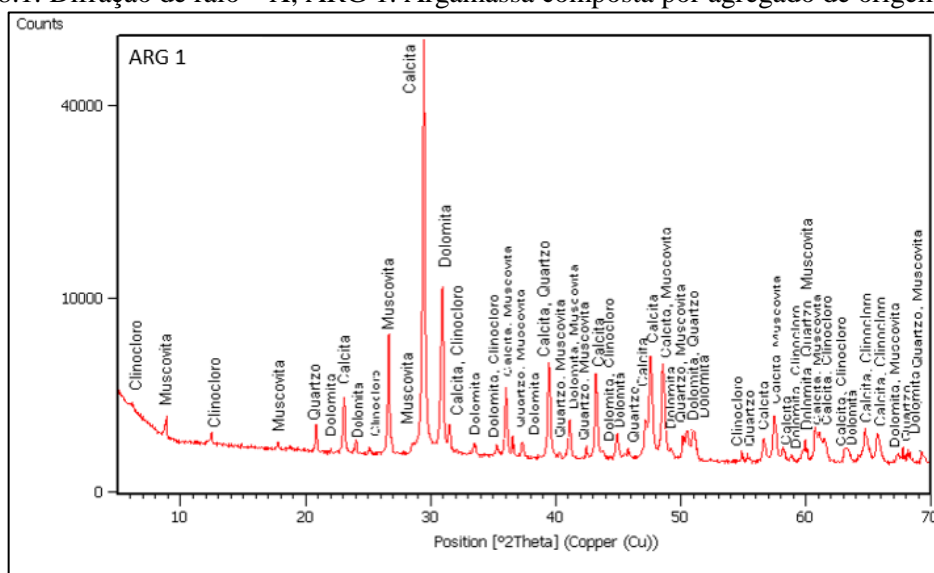


Figura 8.2: Difração de raio – X, ARG 2. Argamassa composta por agregado de quartzo. Q: quartzo. M: microclin.

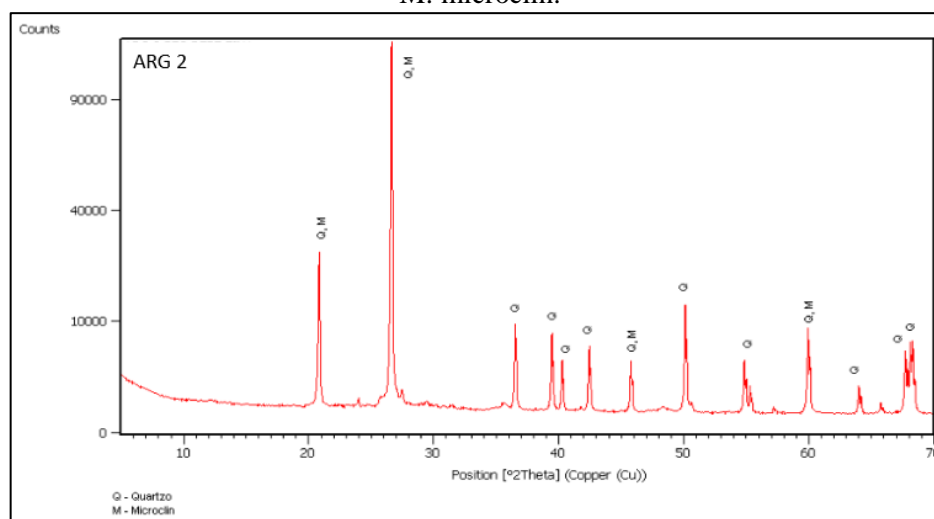


Figura 8.3: Difração de raio – X, ARG 3. Argamassas composta por agregado calcário.

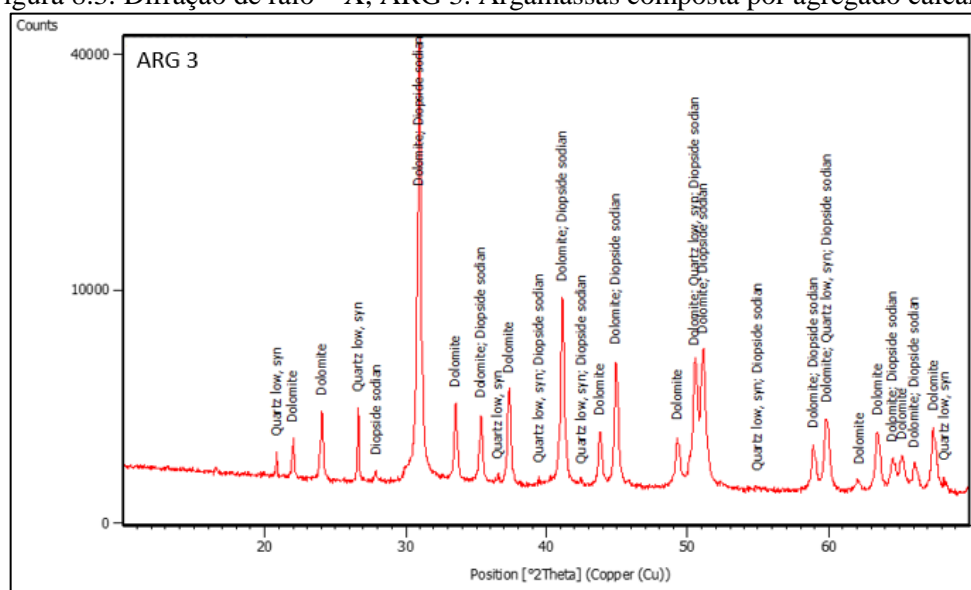


Figura 8.4: Difração de raio – X, ARG 4. Argamassa composta por agregados calcário e quartzo. A: Albite; B: Biotita; C: Cinicloro; D: Cristobalita; E: Calcita; F: Homoblenda; G: Quartzo; H: Hematita; I: Calcita Magnésiana.

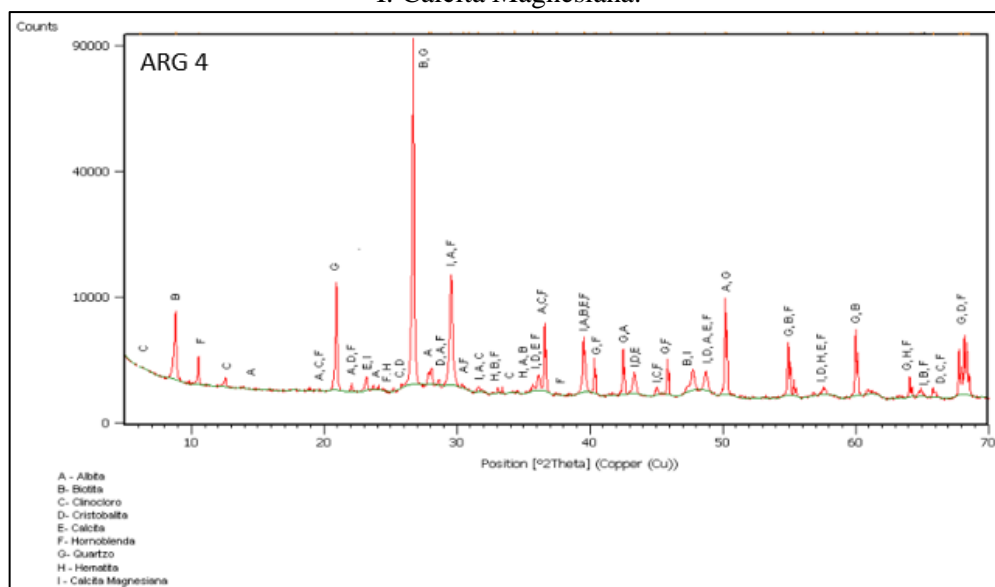


Figura 8.5: Difração de raio – X. ARG 5. Argamassa composta por agregados de quartzo. Q: Quartzo.

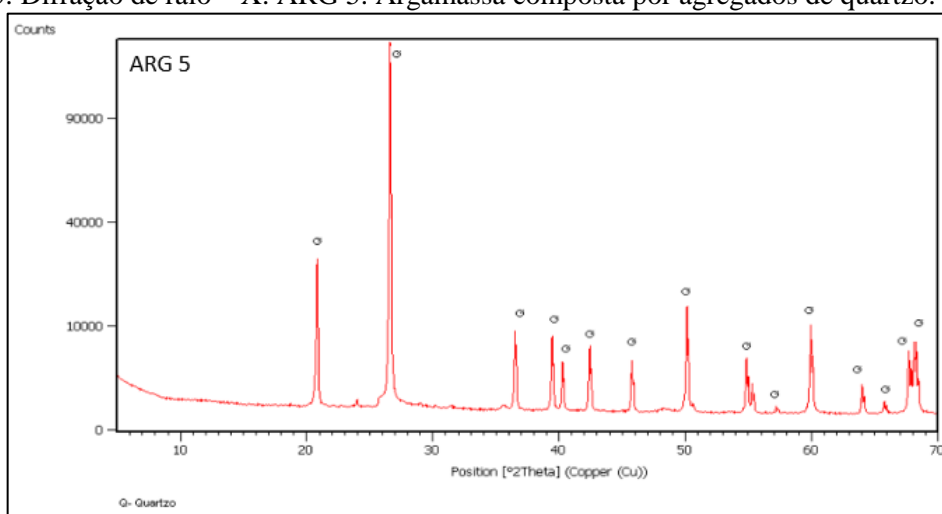


Figura 8.6: Difração de raio – X, ARG 6. Argamassa composta por agregado de quartzo. Q: Quartzo.

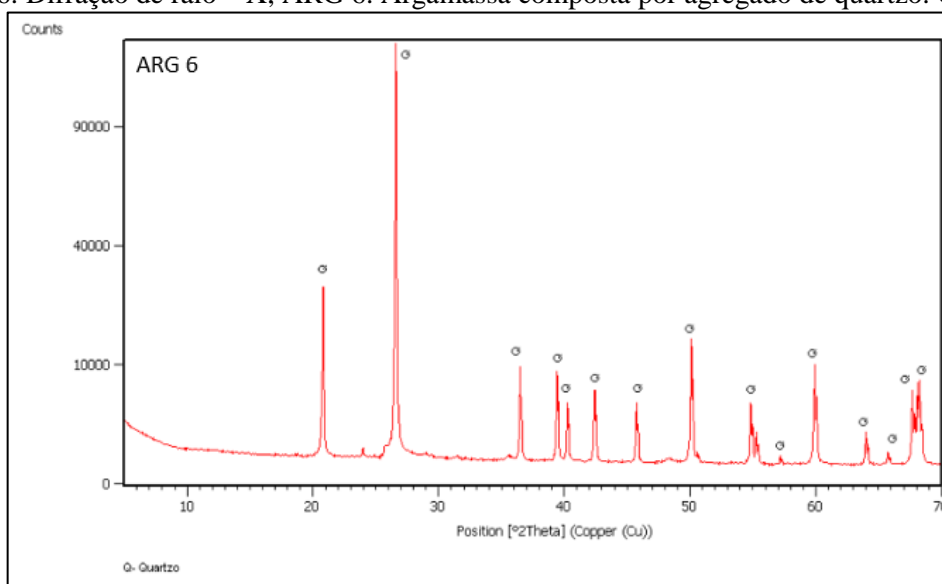


Figura 8.9: Difração de raio – X, ARG 9. Argamassa composta por agregado de quartzo. C: Cristobalita; M: Microclin; Q: Quartzo

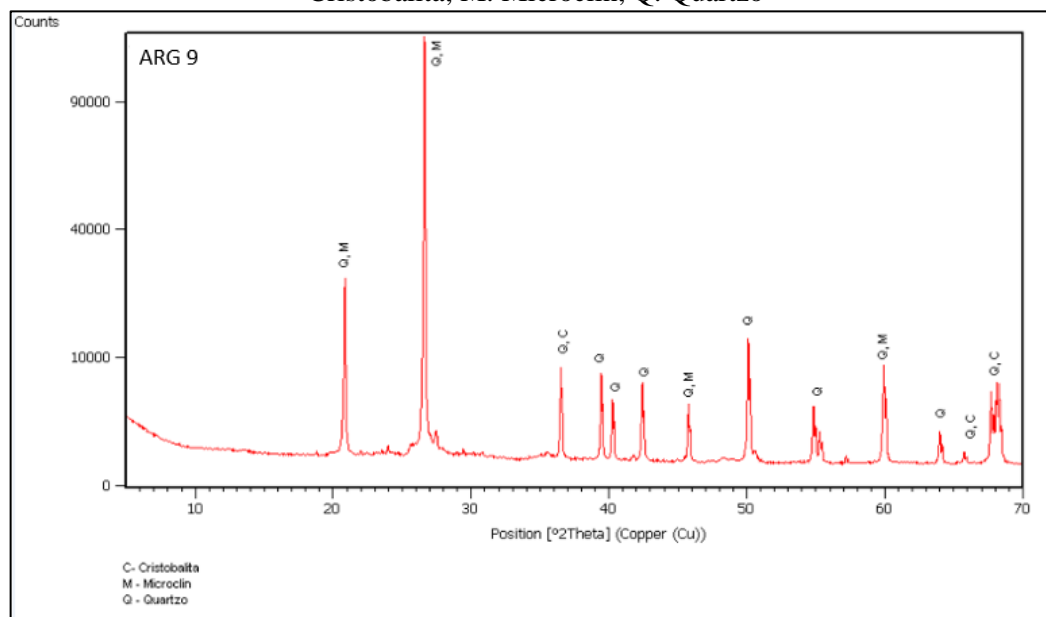
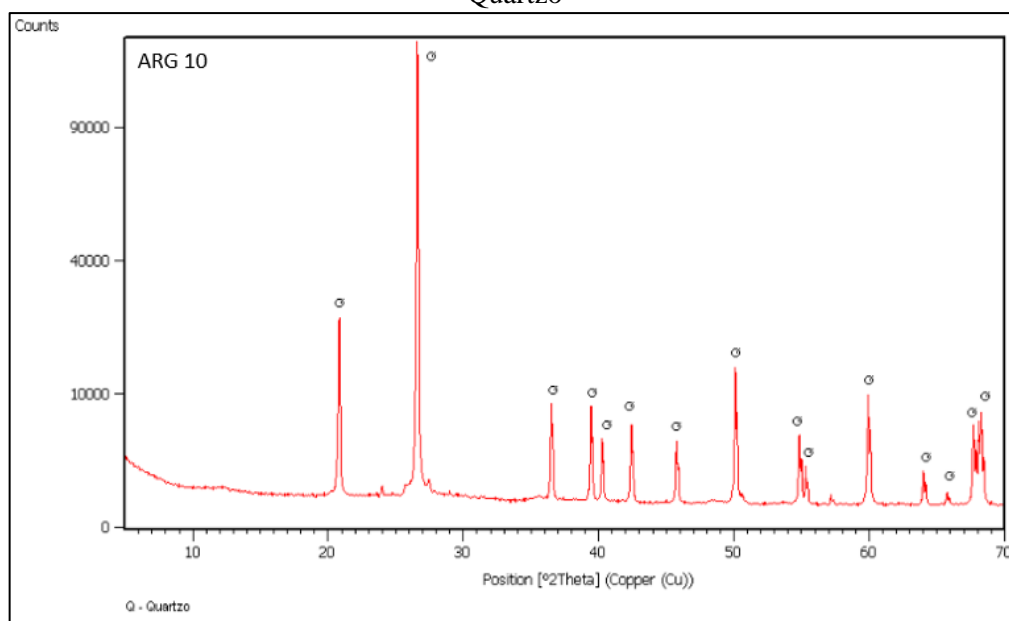


Figura 8.10: Difração de raio – X, ARG 10. Argamassa composta com agregado de quartzo. Q: Quartzo



8.2.APÊNDICE II

Densidades a fresco das argamassas com e sem acréscimo de água

DENSIDADE A FRESCO DAS ARGAMASSAS							
Amostra	AGR1 - Sem acréscimo de água				AGR1 - Com acréscimo de água		
Tempo	T0	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Leitura 1	1680	1953	1985	2069	1685	1905	1890
Leitura 2	1700	1789	1899	1883	1899	1789	1825
Leitura 3	1779	1809	1798	1956	1768	1773	1836
Média	1720	1850	1894	1969	1784	1822	1850
Des. Pad.	52,3	89,5	93,6	93,7	107,9	72,0	34,8
C.V.	3,04	4,84	4,94	4,76	6,05	3,95	1,88
Amostra	AGR2 - Sem acréscimo de água				AGR2 - Com acréscimo de água		
Tempo	T0	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Leitura 1	1660	1760	1783	1850	-	-	-
Leitura 2	1802	1711	1754	1735	-	-	-
Leitura 3	1709	1809	1725	1729	-	-	-
Média	1724	1760	1754	1771	-	-	-
Des. Pad.	72,1	49,0	29,0	68,2	-	-	-
C.V.	4,18	2,78	1,65	3,85	-	-	-
Amostra	AGR3 - Sem acréscimo de água				AGR3 - Com acréscimo de água		
Tempo	T0	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Leitura 1	1699	1707	1805	1977	-	1791	1770
Leitura 2	1759	1765	1890	1885	-	1759	1765
Leitura 3	1790	1867	2012	1880	-	1761	1772
Média	1749	1780	1902	1914	-	1770	1769
Des. Pad.	46,3	81,0	104,0	54,6	-	17,9	3,6
C.V.	2,64	4,55	5,47	2,85	-	1,01	0,20
Amostra	AGR4 - Sem acréscimo de água				AGR4 - Com acréscimo de água		
Tempo	T0	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Leitura 1	1900	2015	2013	2008	2038	1954	2001
Leitura 2	1898	2009	2098	2049	2014	2028	1983
Leitura 3	1907	2087	1983	2091	1978	2056	2083
Média	1902	2037	2031	2049	2010	2013	2022
Des. Pad.	4,7	43,4	59,7	41,5	30,2	52,7	53,3
C.V.	0,25	2,13	2,94	2,03	1,50	2,62	2,64

DENSIDADE A FRESCO DAS ARGAMASSAS							
Amostra	AGR5 - Sem acréscimo de água				AGR5 - Com acréscimo de água		
Tempo	T0	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Leitura 1	1725	1833	1843	2000	-	-	1798
Leitura 2	1780	1810	1810	1904	-	-	1743
Leitura 3	1795	1754	1767	1950	-	-	1830
Média	1767	1799	1807	1951	-	-	1790
Des. Pad.	36,9	40,6	38,1	48,0	-	-	44,0
C.V.	2,09	2,26	2,11	2,46	-	-	2,46
Amostra	AGR6 - Sem acréscimo de água				AGR6 - Com acréscimo de água		
Tempo	T0	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Leitura 1	1685	1705	1798	1880	-	-	1749
Leitura 2	1716	1749	1728	1906	-	-	1756
Leitura 3	1780	1801	1725	1932	-	-	1746
Média	1727	1752	1750	1906	-	-	1750
Des. Pad.	48,4	48,1	41,3	26,0	-	-	5,1
C.V.	2,81	2,74	2,36	1,36	-	-	0,29
Amostra	AGR7 - Sem acréscimo de água				AGR7 - Com acréscimo de água		
Tempo	T0	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Leitura 1	1694	1725	1768	1712	-	1710	1679
Leitura 2	1635	1696	1725	1789	-	1695	1695
Leitura 3	1619	1642	1709	1785	-	1669	1697
Média	1649	1688	1734	1762	-	1691	1690
Des. Pad.	39,5	42,1	30,5	43,3	-	20,7	9,9
C.V.	2,39	2,50	1,76	2,46	-	1,23	0,58
Amostra	AGR8 - Sem acréscimo de água				AGR8 - Com acréscimo de água		
Tempo	T0	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Leitura 1	1745	1980	1921	2005	1831	1800	1870
Leitura 2	1760	1935	1960	1936	1870	1845	1800
Leitura 3	1770	1918	1971	1908	1800	1837	1834
Média	1758	1944	1951	1950	1834	1827	1835
Des. Pad.	12,6	32,0	26,3	49,9	35,1	24,0	35,0
C.V.	0,72	1,65	1,35	2,56	1,91	1,31	1,91
Amostra	AGR9 - Sem acréscimo de água				AGR9 - Com acréscimo de água		
Tempo	T0	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Leitura 1	1745	1985	1889	1886	-	1890	1919
Leitura 2	1805	1890	1992	1980	-	1812	1821
Leitura 3	1725	1958	1971	1984	-	1783	1850
Média	1758	1944	1951	1950	-	1828	1863
Des. Pad.	41,6	49,0	54,4	55,5	-	55,3	50,3
C.V.	2,37	2,52	2,79	2,84	-	3,03	2,70

DENSIDADE A FRESCO DAS ARGAMASSAS							
Amostra	AGR10 - Sem acréscimo de água				AGR10 - Com acréscimo de água		
Tempo	T0	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Leitura 1	1685	1826	1904	1862	-	-	-
Leitura 2	1710	1789	1881	1733	-	-	-
Leitura 3	1855	1734	1877	1787	-	-	-
Média	1750	1783	1887	1794	-	-	-
Des. Pad.	91,8	46,3	14,6	64,8	-	-	-
C.V.	5,25	2,60	0,77	3,61	-	-	-